B I 6('69)
P 4 15

E. DI POGGIO

ELEMENTI

DI

GEOGRAFIA FISICA E GEOLOGIA

AD USO

DELLE SCUOLE CLASSICHE

Secondo i Programmi Ministeriali

C N 156 FIGURE E DUE CARTE COLORATE

395

IN FIRENZE
G. C. SANSONI, EDITORE

1899

CARTINA GEOLOGICA
D'ITALIA
Compilata sulla Carta del R.º Ufficio Geologico
nella Scala di 1: 6,000,000
Meridiano di Roma
MARE LIGURE
MARE ADRIATICO
Arcipelago Toscano
Corsica
ALPI RETICHE
ALPI LEPONTINE
ALPI PENNINE
ALPI CARNICHE
ALPI GIULIE
ALPI MARITTIME
TORINO
MILANO
GENOVA
VENEZIA
TRIESTE
BOLOGNA
FIRENZE
ROMA
Rimini
ANCONA
Savona
Spezia
Livorno
Pisa
Elba
Bastia
Bonifacio
Pelagosa
Vieste
Manfredonia
Barletta
Gaeta
Anzio
Terracina
Pola
Rovigno
Fiume
Zara
Spalato

Prof. A. Poli compilò.

G.C. Sansoni, Editore - Firenze = Proprietà riservata.

Lit. F.co Casanova e Figlio - Bologna. 1898.

PREFAZIONE

Avrei fatto a meno di scrivere la prefazione se non avessi avuto un dovere da compiere. Non potevo lasciare che il mio libro fosse pubblicato senza ringraziare il mio carissimo amico e collega Prof. Aser Poli, dell'istituto tecnico di Piacenza, ed il chiarissimo Prof. Giglioli.

Infatti al Prof. Poli si debbono le due cartine colorate e varie delle figure che accrescono notevolmente di pregio il mio modesto lavoro; ed al Prof. Giglioli è dovuta la terza parte di questo libro, quella cioè che si riferisce all'uomo, alla sua origine ed alle sue razze.

Dimostrandomi grato al Prof. Giglioli di avere acconsentito ad unire al mio il suo nome di chiaro scienziato, debbo poi una particolare riconoscenza al Poli, che mi ha coadiuvato in ogni modo con i suoi ottimi consigli, collaborando con me nel non facile e non gradito lavoro della correzione delle bozze di stampa.

Spero che il libro sia riuscito quale era desiderio mio e del solerte editore, che non ha guardato a spese

per farlo migliore; ed è quindi giusto che io renda il dovuto merito a chi ha con me contribuito a cercare di renderlo, quale dovrebbe essere un libro destinato alle nostre scuole classiche, esatto e moderno nella esposizione scientifica, italiano nella forma, ed italiano anche, per quanto è possibile, negli esempi citati dei diversi fenomeni naturali.

Dal R. Liceo di Bari, Marzo 1899.

E. Di Poggio.

INDICE GENERALE

INTRODUZIONE

Lo studio della nostra Terra, nella sua attuale struttura e nella serie meravigliosa di modificazioni cui è andata soggetta, dal dì della sua origine fino ai nostri giorni, è quello che ci proponiamo.

La parola Geologia (da γῆ terra e λόγος discorso) è usata per esprimere questo concetto. Infatti la Geologia studia gli splendidi fenomeni di cui è stato ed è sede il globo terrestre, e cerca di ricostruirne la storia, avendo per monumenti i materiali di cui esso è costituito, per documenti i resti animali e vegetali, che sono sepolti nei suoi strati.

La Terra, si suol dire, è come un gran libro, in cui la mente scrutatrice del naturalista può leggere tutto il passato, ed, in certo qual modo, trarne argomento a predire l'avvenire. Ma quante pagine di questo libro non sono strappate, e quanti e colossali sforzi per ricomporre gli anelli della interrotta catena!

La Geologia è, dunque, lo studio della nostra Terra; e, siccome questa è formata da minerali e da rocce, ed è popolata da forme svariatissime di animali e di vegetali, si potrebbe credere che nella Geologia fossero comprese tutte le Scienze Naturali. E così infatti sarebbe, se la parola *Geologia* fosse presa nel senso più largo; ma comunemente

le si attribuisce un significato piú ristretto. Essa è scienza eminentemente sintetica, la quale chiede, a tutte le altre scienze naturali, preziosi insegnamenti, per ricavarne ampio vantaggio; ma non spetta al Geologo determinare le specie minerali, di cui si occupa la *Mineralogia*; non le specie animali e vegetali viventi, che sono argomento di studio allo Zoologo ed al Botanico. È vero però che i minerali formano le rocce, che i vegetali e gli animali hanno costituito, anche nel passato, flore e faune, quasi completamente diverse da quelle attuali, le quali sono preziosa guida per ricostruire la storia del nostro pianeta.

Lo studio delle rocce che compongono la terra e quello della loro origine formano oggetto della *Litologia*; lo studio dei resti o delle tracce di animali e di vegetali vissuti nel passato (*fossili*) spetta alla *Paleontologia*.

Litologia e Paleontologia offrono alla Geologia gran parte del materiale che occorre per la grande sintesi storica della terra; ed un altro valido aiuto trova il Geologo nella accurata osservazione dei fenomeni che oggi sulla terra si compiono; tale osservazione forma oggetto della *Geografia fisica* e della *Fisica terrestre* o *Geofisica*, come anche vuole chiamarsi.

Nè basta conoscere la natura delle rocce e quella dei fossili, ma bisogna studiare anche in qual modo operano e quali modificazioni producono i vari agenti sulla superficie e nell'interno della terra, per potere risalire alla ricerca delle modificazioni che si effettuarono nel passato; e questo ultimo è compito dalla *Dinamica terrestre*.

A chiarire meglio i rapporti e le differenze che passano tra la Geografia fisica, la Geofisica e la Dinamica terrestre valga un esempio. Noi sappiamo che cosa sieno i fiumi; orbene, sarà la Geografia fisica quella che ce ne indicherà il corso, sarà la Fisica terrestre che ci spiegherà le cause per cui si formano i fiumi, e sarà finalmente la Dinamica terrestre quella che ricercherà le modificazioni prodotte da essi sulla superficie della terra. Insomma la Geografia fisica studia la nostra terra nelle sue attuali condizioni, la Fisica terrestre

ricerca le cause dei fatti che sulla terra si verificano, lasciando alla Dinamica terrestre la cura di determinarne gli effetti.

Dobbiamo anche considerare che le masse rocciose, le quali formano la crosta della terra, non hanno tutte la stessa posizione relativa, nè la posizione che hanno oggi è sempre uguale a quella che ebbero in passato; da ciò la necessità dello studio delle rocce secondo i loro rapporti di posizione, studio che è lo scopo della *Stratigrafia.*

Da ciò che precede risulta che la Geologia è, come dicevamo prima, scienza eminentemente sintetica; essa riunisce in un tutto, diretto ad un unico scopo, le cognizioni che le sono offerte dalle scienze sorelle; e, giovandosi dei fatti che si verificano oggi sulla terra, risale, attraverso il tempo, fino a sviscerare gli arcani del passato.

Riassumendo, definiremo, come lo STOPPANI, la Geologia, dicendo ch' essa è: « *la storia della terra, desunta dal confronto degli effetti prodotti dalle cause attuali coi fatti che attestano l' azione delle stesse cause in passato* ».

Le aree dei triangoli descritti in tempi uguali sono uguali.

I quadrati dei tempi delle rivoluzioni stanno tra loro come i ~~quadrati~~ cubi dei semiassi

cav. comm.
Astronomo Kepler

Materia attrae in ragione diretta

DELLA ORIGINE DELLA TERRA

È naturale che, a chi studia la storia della Terra, si affacci alla mente per primo quesito quello relativo alla sua origine; ed, osservando che la Terra e tutti gli altri pianeti ruotano attorno al Sole, vien fatto di ricercare nel Sole il centro originario di tutto il suo sistema e quindi anche della Terra.

Tra le varie ipotesi, quella che fu più accetta agli scienziati è l'ipotesi di LAPLACE[1], che può considerarsi come un perfezionamento di quella prima immaginata da KANT[2].

Secondo tale ipotesi, si suppone che in principio lo spazio fosse occupato da una materia cosmica tenuissima, simile a quella delle attuali nebulose. Questa nebulosa era provvista di un movimento di rotazione.

In seguito ad un graduale raffreddamento, prodotto dal suo ruotare attraverso ai freddissimi spazi, mentre essa perdeva calore per irradiazione, nel tempo istesso si contraeva. Diminuendo la nebulosa di volume, le particelle si acco-

---

[1] Insigne matematico francese, n. 1749, m. 1827. Svolse una celebre ipotesi sulla formazione del sistema solare nella sua opera *Esposizione del sistema del mondo* (1796).

[2] Emanuele KANT, celebre filosofo n. nel 1724 a Königsberg, m. 1804.

stavano fra loro; l'energia cinetica diminuiva, e si trasformava, in parte, in calore. Ma, colla diminuzione di volume, nella nebulosa doveva necessariamente aumentare la velocità di rotazione, producendosi, come conseguenza, un sollevamento all'equatore ed una depressione ai poli della massa rotante. Questo sollevamento equatoriale andò sempre più accentuandosi, finché giunse un momento in cui, dalla massa rotante, si staccò un anello, che seguitò a ruotare attorno alla massa centrale. Questa proseguí nella condensazione e nell'aumento della velocità del proprio movimento, finché si formò un secondo anello concentrico al primo, e poi un terzo, un quarto e via di seguito.

Tutti questi anelli, costituiti da tenuissima materia non perfettamente omogenea, non resistettero a lungo al moto di rotazione da cui erano animati; si spezzarono nei punti di minor resistenza, si contrassero, si ravvolsero su se stessi, ed alla loro volta acquistarono, ciascuno, la forma di una sfera roteante da W. in E. Si originarono cosí i Pianeti; e ciascuno di essi, nel modo istesso con cui si era formato, diede origine ai suoi satelliti.

È questo uno dei punti piú deboli dell'ipotesi di Laplace. Spiegare come dalla materia degli anelli siensi potuti formare Pianeti e Satelliti sembra a prima vista facile; ma in realtà non è cosi. Non spetta però a noi discutere l'ipotesi di Laplace; volemmo ricordarla qui, perché è quella piú universalmente accetta oggi.

Essa fu notevolmente modificata dal FAYE[1], il quale ha cercato di distruggere alcune gravi obiezioni che potevansi sollevare contro l'ipotesi di Laplace. Il Faye, contrariamente al Laplace, ammette che i primi a formarsi furono i pianeti interni, cui seguí la condensazione degli esterni, ed ultimo a condensarsi fu il Sole, cui affluiva di continuo materia cosmica dalla periferia. Ingegnosamente egli cerca di distruggere la piú grave obiezione alla teoria di La-

[1] Astronomo francese, n. nel 1814.

place, che è quella del moto retrogrado dei sistemi di Urano e Nettuno, immaginando che, in seguito alla condensazione del Sole, e all'aumento consecutivo della sua massa ed attrazione, essendosi avvicinati i pianeti ad esso, questo moto verso il centro sia stato la causa del movimento retrogrado di quei sistemi. Del resto, la teoria di Laplace ha ricevuto oggi un validissimo appoggio dall'analisi spettrale, che ci ha palesato come esistano nel Sole quasi tutti, se non tutti, i corpi semplici che fanno parte della terra.

Si rinvenne sulla terra anche l'*helium*, gas che, fino ad ora, non si conosceva che nel Sole; ed un altro gas fu recentissimamente trovato nel minerale detto *cleveite*, ed anche di questo gas la presenza era nota nel Sole. Oggi una sola radiazione dell'atmosfera solare non si è ritrovata sulla terra, ed è un raggio, detto *raggio della corona*, che appartiene ad un gas più leggero dell'idrogeno, cui gli astronomi hanno già denominato *coronio*.

In seguito alla continua perdita di calore, la Terra passò, dallo stato di nebulosa tenuissima, a poco a poco allo stato liquido, e da questo a quello solido attuale. L'acqua, che si trovava da prima allo stato di vapore nella atmosfera della terra, precipitò, in seguito al raffreddamento; e l'ossigeno, venendo a contatto con quel suolo rovente, agì con potenti modificazioni chimiche.

La prima porzione solida della superficie terrestre si squarciava sotto l'urto violento delle interne masse incandescenti; i lembi staccati si riagglutinavano, e l'acqua a poco per volta, quando il diminuito calore della terra lo permise, formò le prime onde. Si sciolsero i sali, e fra questi il cloruro di sodio, in quei mari bollenti; ed, in mezzo alle onde agitate, si aprirono una via i vulcani; mentre, per la contrazione della crosta della terra, si formavano delle pieghe da cui ebbero origine i primi rilievi. Così la parte solida era costituita, il mare formato, il sole splendeva sull'orizzonte di quei primitivi deserti; mancava la vita organica e la vita venne: venne meschina, povera, imperfetta, ma aveva in sè tutta l'energia necessaria pel suo meraviglioso sviluppo.

L' ipotesi che abbiamo in ultimo riportata sulla consolidazione della terra da una massa prima fluido-gassosa e poi liquida è di De-Beaumont [1]; ma trova nell'antico Empedocle il suo primo ideatore. Nondimeno, per quanto bella ed attraentissima, è pur sempre un'ipotesi; ché, sulla interna fluidità del nostro globo, molto si è discusso e si discute ancora; ed i fenomeni vulcanici, invocati a dimostrarla, possono essere ben diversamente considerati e spiegati, senza che sia necessario ammettere una massa fluida interna.

[1] Elia De-Beaumont, celebre scienziato francese del principio del secolo.

PARTE PRIMA

Geografia fisica e dinamica

CONDIZIONI ASTRONOMICHE DELLA TERRA

Rotondità della terra. — Siamo tanto abituati a sentir ripetere che la terra è rotonda, che quasi ci meravigliamo che non in tutti i tempi siasi riconosciuta questa verità. Infatti della rotondità della terra abbiamo prove evidentissime.

Di queste ricorderemo solo le principali:

1ª Sapendo che l'orizzonte è quella linea che limita tutto intorno lo sguardo di un osservatore, se noi supponiamo che questi sia collocato in un luogo elevato, avrà per linea di orizzonte una circonferenza. Ciò accade sempre, da qualunque punto della superficie terrestre si faccia la osservazione; e quanto piú l'osservatore si solleva in alto, tanto piú si estende e si allarga l'orizzonte. Tale fenomeno si indica col nome di *depressione dell'orizzonte.* Soltanto i corpi sferici, o quasi sferici, godono della proprietà di presentare orizzonti circolari, da qualunque punto sieno osservati.

2ª Altra prova è offerta dall'altezza della stella polare sull'orizzonte. L'altezza di una stella è l'arco del cerchio verticale compreso tra l'astro medesimo e l'orizzonte.

L'aumentare di questo arco, o dell'angolo che lo sottende, andando verso Nord, indica che l'osservatore ha camminato sopra una superficie curva.

3ª Prove ancor più comuni sono date dai viaggi di circumnavigazione, il primo dei quali fu intrapreso da Magellano nel 1519 e compito da Elcano nel 1522.

4ª Il modo di presentarsi dei corpi nel mare dimostra che essi procedono sopra una superficie curva. A ciascuno è noto che, dalla spiaggia, prima si scorge la cima degli alberi di una nave, che ad essa si avvicini, e poi se ne vede lo scafo (Tolomeo, II sec. a. C.).

5ª In ultimo, se la terra non fosse rotonda, l'ombra che essa proietta sulla luna in una eclissi, in qualunque posizione trovisi la terra, non sarebbe un arco di cerchio (Aristotile, IV sec. a. C.).

Appiattimento della terra. — Rotonda è adunque la nostra terra: ma è poi perfettamente sferica?

Senza diffonderci a fare la storia delle diverse misure che si fecero di archi di meridiani, diremo solo che l'idea che la terra non fosse una sfera perfetta balenò per la prima volta alla mente del sommo Newton.

Egli, basandosi sulla teoria della gravitazione universale, rassomigliò la forma della terra a quella che avrebbe acquistata una massa fluida rotante, e quindi soggetta all'azione della forza centrifuga. Concludendo che la forma di equilibrio di una tale massa doveva essere quella di un ellissoide di rivoluzione, ne desumeva per la terra una forma simile. In queste considerazioni egli tenne conto delle osservazioni del Richer, che, nel 1672, a Caienna, riconobbe un ritardo, rispetto a Parigi, nelle oscillazioni del pendolo (2^m e 28^s al giorno). L'accelerazione della gravità era minore nelle vicinanze dell'equatore che a Parigi; e la differenza era maggiore di quella che si trova tenendo conto della forza centrifuga, la cui intensità è nulla ai poli, massima all'equatore; dunque la terra non doveva essere perfettamente sferica. Ma il valore che Newton assegnava all'appiattimento, come anche quello che quasi contempora-

neamente gli assegnava l' HUYGENS, non era conforme al vero.

La prima ricerca da farsi per verificare la forma della terra era quella della misura diretta di due gradi di meridiano in due luoghi differenti e sufficientemente distanti, cioè verso il polo e presso l' equatore.

A ciò si accinse l'Accademia di Francia; ed infatti fu dimostrata la eccedente lunghezza del grado di meridiano in Lapponia, in confronto con quello misurato al Perú.

A risultati identici conducono anche osservazioni astronomiche.

A noi basti concludere che « *la forma della terra è quella di uno sferoide irregolare, depresso ai poli e sollevato all' equatore* »; non è dunque la forma di un ellissoide di rivoluzione, e fu detta *geoide*, quasi a significare: forma speciale della terra. Lo schiacciamento polare, cioè il rapporto fra l'eccesso del semiasse maggiore (equatoriale) sul semiasse minore (polare) ed il semiasse maggiore, si calcola di circa $\frac{1}{292}$.

Dimensioni della terra. — Oggi, trascurando le differenze che possono esistere tra meridiano e meridiano, si ammette per il meridiano terrestre la misura media di 40 milioni di metri circa (m. 40008030).

Si calcola poi che il raggio terrestre all' equatore sia di 6378393 m., e quello ai poli 6356549 m.

La circonferenza equatoriale sarebbe di 40070664 m.

La superficie 510082000 chilom. quad.

Il volume 1083260 milioni di chilom. cubici.

La causa dello schiacciamento della terra ai poli abbiamo già visto consistere nella forza centrifuga prodotta dal movimento di rotazione.

Densità della terra. — La fisica ci insegna che la densità di un corpo è uguale al rapporto tra il numero che ne rappresenta la massa, e quello che ne rappresenta il volume. A noi è già noto il volume della terra; quando ne sia nota la massa, ne troveremo facilmente la densità.

A tale scopo si può ricorrere a vari mezzi. L'uno consiste nel determinare la deviazione del filo a piombo per l'attrazione di una montagna isolata, di forma e composizione piú che è possibile note. Conosciuta l'azione attrattiva della montagna, si paragona con la gravità terrestre; e, siccome è nota la massa del monte, se ne deduce quella della terra.

Altro metodo consiste nel fare oscillare un pendolo alla superficie della terra e poi in una miniera, oppure nel paragonare la lunghezza di un pendolo che batte i secondi sopra una montagna con quella che dovrebbe avere, oscillando alla medesima altezza, nell' aria libera sopra la superficie del mare. Valutando poi la massa che forma la montagna, si giunge alla determinazione della massa, e quindi della densità, della terra.

Ma il metodo piú preciso è quello della bilancia di Cavendish.[1] Questo strumento serve veramente a determinare il valore della forza di attrazione tra due masse uguali all'unità, situate all'unità di distanza. Dalle esperienze del Baily risulta che la massa di un grammo attira la massa di un grammo, alla distanza di un centimetro, con una forza uguale a $\frac{65}{10^9}$ *dine*, equivalenti al peso di circa 66 bilionesimi di grammo (cioè gr. $\frac{66}{10^{12}}$).

Chiamando ν questa forza, la forza di attrazione tra due masse m ed m', situate alla distanza r, sarà, per la legge di Newton,

$$F = \nu \frac{m\,m'}{r^2}.$$

Applichiamo ora questa formola al caso di un corpo qualunque attirato dalla terra. Un corpo di massa m sarà attirato dalla terra con una forza P (che è il peso del corpo stesso) espressa da

$$P = \nu \frac{m\,M}{R^2},$$

ove M sia la massa della terra ed R la distanza del corpo pesante dal centro della terra, cioè il raggio terrestre medio.

---

[1] Vedi Roiti pag. 207 delle *Nozioni di Fisica e Chimica*. Parte 2ª.

Ma $P = mg$ (v. Fisica), ove g sia l'accelerazione della gravità, quindi l'equazione precedente diviene

$$mg = \nu \frac{mM}{R^2},$$

da cui

$$M = \frac{gR^2}{\nu}$$

Ora g e ν sono quantità note, quindi si potrà calcolare M.

Sostituendo infatti i valori $\nu = 6,5 \times 10^{-8}$ $R = cm. 6,371 \times 10^8$ e $g = 981$ (in Inghilterra, ove fece il calcolo Baily), risulta

$$M = 6,126 \times 10^{27}$$

in unità assolute del sistema *C. G. S.* (centimetro, grammo-massa, secondo).

E siccome la densità media relativa all'acqua si ottiene dividendo la massa pel volume, e questo è (in centimetri cubi)

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 1,0832 \times 10^{27},$$

la densità sarà

$$d = \frac{M}{V} = \frac{6,126 \times 10^{27}}{1,0832 \times 10^{27}} = \frac{6,126}{1,0832} = 5,66.$$

Abbiamo quindi per la terra una *densità di circa* 5 e $^1/_2$ *relativa all'acqua.* Ma siccome quasi tutte le rocce, che costituiscono la parte superficiale della nostra terra, hanno una densità compresa fra 2 e 3, così la densità della terra deve essere maggiore nelle parti profonde che in quelle superficiali; e siccome i metalli, od almeno molti di essi, sono di densità elevatissima, si verrebbe alla conclusione che la parte interna della terra è in gran parte metallica. Si potrebbe per altro obiettare che una sostanza leggerissima alla superficie, può, per effetto della aumentata pressione, acquistare notevole densità nelle zone profonde. Comunque sia, sulla interna natura del nostro globo la scienza manca di dati positivi e di prove dirette; ed ogni teoria assoluta a tale proposito ha in sé, come tutte le cose assolute, il germe dell'errore.

Movimenti della terra. — La nostra terra è animata da due principali movimenti: l'uno di *rotazione*, da W

in E, attorno al proprio asse, l' altro di *rivoluzione* attorno al Sole. Questi movimenti sono confermati: dalla deviazione dei corpi che cadono da grande altezza, i quali si spostano verso oriente (Newton 1679 e Guglielmini 1791); dall'apparente rotazione del piano di oscillazione del pendolo (Foucault 1851); dalla diminuzione dell'accelerazione della gravità dai poli all'equatore per effetto della forza centrifuga; dallo schiacciamento della terra ai poli, causato, secondo le ipotesi esposte precedentemente, dalla medesima forza centrifuga; dalla legge dell'*attrazione*, per cui sarebbe impossibile ammettere che la Terra, cosí piccola rispetto al Sole, potesse esercitare su questo una tale azione attrattiva da costringerlo a ruotare attorno ad essa.

La curva che la Terra descrive nel suo movimento attorno al Sole non è circolare, ma ellittica, ed il Sole occupa uno dei fuochi dell' ellissi. Peraltro questa ellissi si discosta ben poco da un circolo, in quanto che la distanza fra i due fuochi è appena di 0,0166 dell' asse maggiore.

L' asse di rotazione della terra non è perpendicolare al piano dell' orbita terrestre (eclittica), ma fa, con la normale a quel piano, un angolo uguale a 23° 27′ 21″, angolo che è però insensibilmente variabile.

Con questa obliquità è strettamente collegato il fenomeno delle *stagioni* (fig. 1 e 2).

I raggi solari, cadendo sulla terra, ne illuminano perfettamente una metà, mentre l' altra metà resta all' oscuro, sinché, nel suo moto di rotazione, la terra non volge al Sole questa seconda metà. Se l'asse di rotazione della terra fosse perpendicolare al piano della eclittica, il cerchio, che separa la parte della terra in luce dalla parte in ombra, coinciderebbe con un meridiano; quindi le condizioni calorifiche e luminose varierebbero a seconda delle latitudini, per causa della diversa obliquità dei raggi solari, ed anche, in minima parte, a seconda che la terra si trovasse all'*afelio* (punto dell' orbita, od apside piú lontano dal sole) od al *perielio* (punto piú vicino), ma non si avrebbero sensibili diversità di stagioni, e la durata del giorno sarebbe, per

tutte le latitudini, perfettamente uguale alla durata delle notti. Invece l' obliquità dell' eclittica porta a risultati ben diversi.

L'asse della terra, in un intiero movimento di rivoluzione di questa, si trova due volte in tale posizione da fare

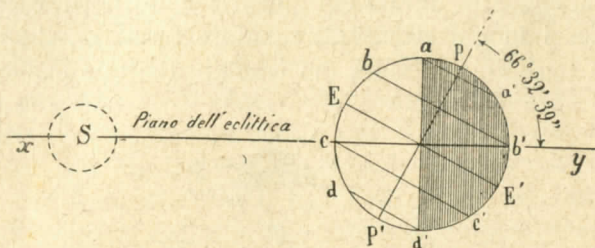



Fig. 1. — Posizione della terra rispetto al piano della eclittica (inverno) *PP'* asse di rotazione. - *EE'* equatore. - *aa'* circolo polare artico. - *dd'* circolo polare antartico. - *bb'* tropico del Cancro. - *cc'* tropico del Capricorno. - *S* Sole. - *xy* piano dell' eclittica.

un angolo retto con la linea che unisce il centro della terra col centro del sole, o *raggio vettore.* A questi due punti della eclittica si dà il nome di *equinozi.* In tale condizione

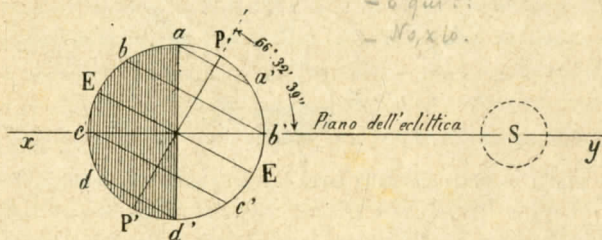



Fig. 2. — Posizione della terra rispetto al piano dell' eclittica (estate). *PP'* asse di rotazione. - *EE'* equatore. - *aa'* circolo polare artico. - *dd'* circolo polare antartico. - *bb'* tropico del Cancro. - *cc'* tropico del Capricorno. - *S* Sole. - *xy* piano dell' eclittica.

il cerchio di illuminazione coincide con un meridiano, ed il giorno ha durata uguale a quella della notte. (Equinozio di autunno 21-23 settembre — Equinozio di primavera 20-21 marzo).

Vi sono poi altri due punti, nell'uno dei quali l'angolo fatto dall'asse terrestre, nella sua parte boreale, col raggio

vettore, è minimo, nell'altro è massimo. Questi altri due punti si chiamano *solstizi.* (Solstizio d'estate 21 giugno — valore dell'angolo 66° 32′ 39″ — e Solstizio d'inverno 21-22 dicembre — valore dell'angolo 90° + 23° 27′ 21″). Man mano che la terra si allontana dagli equinozi varia continuamente la durata dei giorni e delle notti, eccezione fatta per i luoghi situati all'equatore terrestre, il quale è sempre tagliato per metà dal cerchio di illuminazione. Si

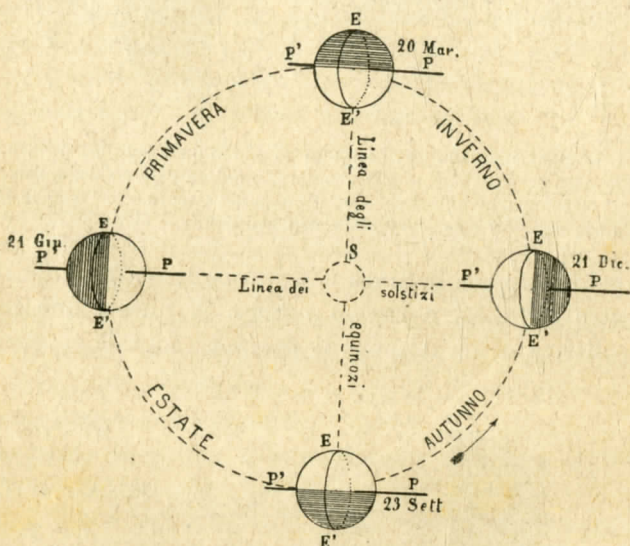



Fig. 3. — Posizione della terra in vari punti della eclittica.

capisce facilmente che, con questa diversità di durata dei giorni e delle notti, è collegata anche una diversa quantità di calore e di luce ricevuta da un dato luogo, e quindi diversità di stagioni.

La fig. 3 serve benissimo a chiarire il fenomeno delle stagioni, insieme alle fig. 1 e 2.

L'asse della terra per altro è ben lungi dal conservarsi parallelo a se stesso; esso, in realtà, descrive attorno alla normale all'eclittica, in 26000 anni, un cono, per cui la linea degli Equinozi si sposta annualmente di 50″,2 verso occi-

dente. Ne deriva che l'Equinozio anticipa annualmente, ossia è in *precessione*, di una piccola quantità. Ma nel tempo stesso che l'asse della terra effettua questo moto, detto *moto conico,* oscilla anche lentamente dall'una parte e dall'altra della sua posizione media. Per effetto di questo secondo movimento detto di *nutazione*, dovuto all'azione della luna sul rigonfiamento equatoriale, gli equinozi subiscono in realtà un'anticipazione annua di 62″.

Per tutto ciò la durata delle stagioni è lungi dall'essere fissa. E se poniamo mente che il grande asse dell'orbita si sposta, che l'eccentricità dell'orbita terrestre è tutt'altro che fissa, che l'obliquità della eclittica è soggetta a secolari variazioni, si comprende sempre più quanto possano essere notevoli, col succedersi del tempo, le variazioni dei climi. Di più, nemmeno l'asse della terra si può considerare fisso rispetto alla terra stessa. I materiali terrestri si cambiano e si modificano di continuo, e modificano anche la loro posizione; il centro di gravità può quindi spostarsi, e tale spostamento porterebbe con sé uno spostamento nell'asse di rotazione.

Siccome le stesse variabilità, che si accennano oggi nelle condizioni astronomiche della nostra terra, si sono indubbiamente verificate anche nel passato, così è certo che sono avvenuti anche notevoli cambiamenti di clima, e con loro anche cambiamenti incessanti nelle condizioni della vita organica.

Quale meraviglia se, col mutare di queste, siensi anche modificate le specie animali e vegetali, trasformandosi ed adattandosi alle nuove condizioni?

I CONTINENTI

Disuguaglianza nella distribuzione delle terre e dei mari. — Le ineguaglianze della distribuzione delle terre e dei mari alla superficie del globo terrestre ci sono chiaramente rappresentate dalle carte geografiche. Tali immagini

della superficie della terra sono certamente espressive, ma sono ben lungi dal palesarci le ineguaglianze della superficie stessa sotto lo strato piú o meno potente di acqua, che si estende sopra gran parte della superficie solida.

Guardando un planisfero, prima a ferirci lo sguardo è la notevole diversità di distribuzione delle terre emerse nei due emisferi, boreale ed australe. Nel primo si ha la massima accumulazione di terre, mentre nel secondo ha notevole prevalenza il mare.

Stabilire il rapporto fra la terra emersa e la sommersa non è cosa facile. Si tratta infatti di paragonare fra loro porzioni di superficie di forma variabilissima, limitata da linee tutt'altro che precise, sia per i movimenti della marea, che implicano periodiche mutazioni nel contorno delle terre emerse, sia per la non conoscenza di molte terre, come sarebbero le regioni polari, sia per i continui mutamenti della linea di spiaggia in seguito ai lenti movimenti della superficie terrestre.

Nondimeno si calcola con approssimazione che, dei 510 milioni di kil. quad., che costituiscono la superficie della terra, 375 spettino al mare e 135 alle terre emerse.

La proporzione delle terre non solo è diversa nei due emisferi, ma lo è anche nelle varie zone. Cosí nella nostra zona si ha quasi completa uguaglianza fra terra e mare; ed è questa nello stesso tempo la zona piú ricca di terre. All'equatore è invece minore la terra emersa rispetto al mare. Nella zona temperata australe poi, la prevalenza del mare sulla terra è notevolissima.

Una cosa che ci sembra degna di nota è che il centro dell'Oceano Pacifico corrisponde quasi diametralmente al centro dell'ammasso continentale Europeo-Asiatico, come pure agli antipodi dell'Oceano Glaciale Artico si hanno le terre polari Antartiche.

Analogie esistenti tra le masse continentali. — Consideriamo ora alcune notevoli analogie che ci sono presentate dalle varie parti della terra emersa.

La notevole estensione in larghezza dei continenti a

nord e la loro tendenza a ridursi in punta verso sud, sono fatti così evidenti, che è inutile insistervi. Le due Americhe, l'Affrica, il continente Asiatico-Europeo ce li palesano chiaramente; e lo stesso fatto si ripete in gran parte anche nelle penisole.

Ma non è questa la sola analogia che occorre notare; talché, se le masse continentali vengono dai geografi divise nel modo che tutti conoscono (Europa, Asia, Affrica, le due Americhe, l'Australia, le terre Polari), noi, partendo da altre considerazioni, offerteci da somiglianza di configurazione, distribuiremo i continenti in tre gruppi, sul tipo del continente americano. L'America è formata da due continenti, l'uno a nord, l'altro a sud, riuniti fra loro da un istmo. A questo medesimo tipo possiamo ridurre l'Europa con l'Affrica, l'Asia con l'Australia.

Infatti, lungo il piede orientale degli Urali, si ha una pianura di emersione non antichissima, che, in certo qual modo, rappresenta una unione tra il mare Glaciale e l'ampia depressione Aralo-Caspica. Il continente settentrionale sul tipo dell'America del Nord eccolo adunque formato coll'Europa. Né l'istmo di unione coll'Affrica dobbiamo tardare molto a rinvenirlo nel bassofondo che si estende tra la Sicilia e l'Affrica, del quale Malta e Pantelleria sono punti emersi. Il tipo americano è adunque perfettamente ricostruito.

E così pure è ricostruito dall'Asia e dall'Australia, qualora se ne formi l'istmo di unione per mezzo della penisola di Malacca e dell'isole della Sonda. Il continente meridionale è, in questo caso, molto ridotto, in seguito a movimenti della superficie della terra.

Ed altre somiglianze non si hanno forse nei gruppi insulari che trovansi ad oriente di tutti e tre gli istmi intercontinentali, quali le isole della Sonda le Antille, l'arcipelago Greco? e nelle tre penisole che terminano a sud tutti e tre i continenti settentrionali, ossia Arabia, Indostan, Indocina in Asia; Spagna, Italia, Grecia in Europa; California, America centrale (se l'istmo non esistesse più)

e Florida in America? e nel grande frastagliamento delle coste dei continenti settentrionali, mentre i tre meridionali sono a coste poco o punto frastagliate, e mancano assolutamente di mari interni?

E, per concludere, si guardi alla forma triangolare di questi ultimi, al loro terminare in punta battuta violentemente dalle onde, come lo attestano la Tasmania disgiunta dalla Australia, la spezzata Terra del Fuoco, il Capo di Buona Speranza o Tempestoso, come da prima venne chiamato; si guardi alla deviazione verso est dei tre continenti meridionali rispetto a quelli nordici, alla concavità che i primi presentano ad occidente, in corrispondenza della loro convessità orientale; osservando ciò, non potremo fare a meno di restare sorpresi per la notevole analogia che le terre emerse hanno fra di loro.

Rilievi terrestri. — In noi Italiani le nostre Alpi han sempre destato un senso di meravigliosa grandezza; eppure esse non sono altro che deboli rughe sulla superficie terrestre.

Le rughe che si osservano sopra una mela avvizzita sono, rapporto alla mela, di una elevazione assai superiore a quella delle più alte montagne rispetto alla terra. Il Gaurisancar, la più elevata cima, od almeno quella che tale si considera, della catena colossale dell'Jmalaia nell'Asia, che si spinge ad 8840 metri sul livello del mare, rappresenta $\frac{1}{720}$ del raggio terrestre. Se immaginassimo un globo terrestre di un metro di raggio, il Gaurisancar dovrebbe avere l'altezza di 1 millimetro e mezzo! Le scabrosità della superficie di un uovo ci possono appena raffigurare il rapporto tra le masse montuose e la terra.

Se poi poniamo mente al fatto che le montagne molto elevate sono scarse, che la maggior parte dei continenti non è soverchiamente elevata sopra il livello del mare, ci persuadiamo con facilità che la massa delle terre emerse non è molto considerevole; talchè, se supponiamo di abbattere tutte le cime e stenderle uniformemente sulla terra

emersa, l'altezza media, a seconda dei vari calcoli recenti, sarebbe tra i 680 e i 735 metri sul livello del mare.

Per dire il vero, i calcoli, per determinare la media elevazione dei continenti, si imbattono in difficoltà diverse. Prima fra tutte è la imperfetta conoscenza dei rilievi terrestri della maggior parte del globo; segue poi la instabilità del confine fra terra e mare, dovuta, sia alla marea, sia ai lenti movimenti delle spiagge. Altra difficoltà, non meno importante, dipende dalla attrazione esercitata dalle masse terrestri sulla massa oceanica, per cui il mare in prossimità della spiaggia si solleva, coprendo porzione di terra, che sarebbe emersa, se tale attrazione non si verificasse.

Distribuzione delle catene montuose. — La geografia ci insegna che una *catena montuosa* risulta dalla riunione di molte montagne disposte in serie quasi lineari, e ci insegna anche che *asse* della catena è la linea che si immagina condotta lungo la catena nel senso del suo maggiore sviluppo.

Ciò premesso, se osserviamo quali direzioni abbiano gli assi delle catene, vediamo essere prevalenti quelle secondo i meridiani e secondo i paralleli.

Nell' America domina la direzione meridiana; infatti vanno da nord a sud: la Catena costiera, la Sierra Nevada, le Montagne Rocciose, la grande Cordigliera delle Ande. Simili esempi di direzione meridiana l' abbiamo pure: nelle montagne Azzurre e nelle Alpi Australiane dell'Australia, nei gruppi del Kilima-Ngiaro e del Kenia in Affrica.

Direzione invece secondo i paralleli si ha: nei Pirenei, nelle Alpi, nei Carpazi, nel Caucaso in Europa; nel Tauro, nel Cuen-Lun, nel Tian-scian, nell' Imalaia in Asia, nell' Atlante in Affrica.

Direzione intermedia fra le due precitate ce la offrono gli Appennini ed il Giura in Europa, i monti del Brasile e gli Appalaciani in America.

L' idea che le montagne rappresentino lo scheletro dei

continenti deve assolutamente bandirsi; i continenti sono tutt'altro che simmetrici, e le carte geografiche ci attestano che le grandi linee di elevazione non occupano mai una posizione mediana nei continenti, ma esse si trovano sempre o presso all'oceano, come l'Himalaia e le Ande, o presso a superfici relativamente depresse della terraferma, come le Alpi, i Pirenei, gli Urali.

E siccome la Geologia dimostra che i bacini continentali, in generale, sono stati una volta fondi di mare, ci è dato di potere formulare una prima legge, che dice: « *Allorquando si forma una grande linea di rilievo, essa costituisce la riva di una depressione oceanica o lacustre* ».

Dissimmetria del profilo delle catene montuose. — Un altro fatto importantissimo, che dovremo richiamare alla mente in altra circostanza, è la diversità del pendío dei due versanti di una catena montuosa; diversità di pendenza che è strettamente collegata, come vedremo a suo tempo, col fenomeno che ha dato origine alla catena stessa.

Non vi è, io credo, persona, che non sappia che le Alpi presentano piú ripido pendío verso la vallata del Po, e piú dolce invece sul versante settentrionale. In ciò è la ragione naturale di tutte le invasioni barbariche; ché il dolce pendio al lato nordico agevolò ai barbari la salita delle Alpi, d'onde fu loro facile precipitarsi sulle ridenti terre della pianura Padana.

Cosí i Pirenei sono ripidi a nord e dolcemente si protendono verso la Spagna; ripidissima è la inclinazione del Giura verso il lago di Neuchâtel e verso il lago di Ginevra. Ma, per citare esempi piú colossali, valgano quelli dell'Imalaia, ripidissima verso l'Oceano Indiano, e delle Ande, che al Pacifico presentano la loro pendenza maggiore.

Da ciò si desume che: « *il pendío piú ripido di una catena fu od è ancora rivolto verso una depressione marina* ».

Eccezione apparente sono gli Allegani od Appalaciani nell'America del Nord, che offrono il ripido pendío verso la vallata del Mississipi; ma la eccezione scompare, quando

si consideri che tale vallata fu, una volta, occupata dal mare.

Si osservi poi che alle alte montagne, che si protendono ripidamente verso il mare, corrispondono anche immedia-

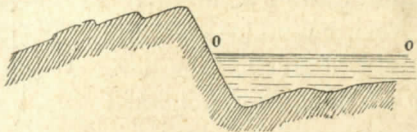



Fig. 4. — Dissimmetria dei rilievi e delle depressioni. « O-O livello del mare. (Dal De-Lapparent).

tamente subite profondità (fig. 4); mentre, per le spiaggie che spiovono in mare con lieve inclinazione bisogna inoltrarsi molto in mare per trovarvi grandi profondità.

L' OCEANO

Dislivello dei mari. — Abbiamo già visto che la superficie della terra coperta dal mare è assai maggiore di quella occupata dalla terraferma. Il diagramma della fig. 5, mostra il rapporto che passa, alle varie latitudini, tra l'area occupata dalla terra emersa e quella coperta dal mare.

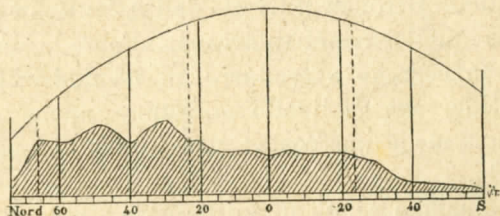



Fig. 5. — Diagramma mostrante il rapporto fra la terra emersa e la superficie oceanica alle diverse latitudini (Terra emersa *a tratteggio*).

Il mare è uno dei piú potenti agenti di modificazione della terra, sia direttamente per la distruzione che opera sopra le coste e per le varie formazioni che in esso si originano, sia indirettamente per l' acqua che ne evapora e che, ricadendo sulla terra, vi forma i torrenti, vi disgrega

le rocce, tendendo continuamente a trasportarle al mare, per ivi sedimentarle.

Sappiamo che l'Oceano si divide in cinque parti: Atlantico, Pacifico, Indiano, Artico, Antartico. Sappiamo anche che i mari comunicano fra loro. Ma se, partendo dal concetto che nei vasi comunicanti i liquidi di egual densità giungono allo stesso livello, vogliamo applicarlo al mare, si va incontro ad un errore, poiché il livello del mare non è da per tutto il medesimo.

Prima di tutto, la superficie del mare, in molti luoghi, si discosta da quella che avrebbe un ellissoide di equilibrio, poiché è elevata presso i continenti, in conseguenza della attrazione esercitata dalle masse terrestri. Di piú, tale attrazione non è da per tutto uguale, ma è certo maggiore là ove una colossale massa montuosa si stende lungo la spiaggia. Del resto i liquidi giungono allo stesso livello nei vasi comunicanti, *se hanno la stessa densità;* e noi vedremo, invece, che i mari non son tutti ugualmente salati e quindi non ugualmante densi. Le maree possono, e cosí anche i venti, spingere le acque in certi seni, ed elevarne il livello; e sembra che, in gran parte, a ciò debbasi attribuire il livello piú elevato del mare Adriatico nel golfo di Venezia in confronto con quello del Mediterraneo. All'imboccatura della Gironda il livello dell'Atlantico è di m. 0,72 superiore a quello del Mediterraneo. Forse le acque stesse del fiume concorrono a produrre un tal dislivello. Talora notevoli differenze di livello si hanno anche in diversi punti di una medesima costa: cosí è appunto per la costa dell'Irlanda.

In conclusione esiste una differenza di livello fra i diversi mari; ma non è men vero che tale differenza fu, in molti casi, portata a cifre esageratissime; mentre, in realtà è piccola cosa.

Dobbiamo anche dire che queste differenze di livello sono tutt'altro che fisse, dipendendo esse da un complesso di cause variabilissime, talché il livello del mare, prescindendo dalle variazioni periodiche causate dalla marea,

cambia incessantemente e lentamente. Contribuiscono a questa mutabilità le forze che producono le montagne, per cui si formano inalzamenti e depressioni, e mentre terreni prima asciutti sono ingoiati dalle onde, altri terreni emergono da queste; vi contribuiscono i materiali che si depositano nei mari, come conseguenza della erosione dei continenti, e producono, sia pure con immensa lentezza, un graduale inalzamento di livello; vi contribuisce in ultimo il secolare spostamento dell'asse terrestre.

Ma tale variabilità di livello va intesa solo nel senso di uno spostamento della massa acquea, e non in quello di una diminuzione della medesima, poichè se è vero che si consuma dell'acqua per l'idratazione dei minerali e la infiltrazione attraverso gli strati terrestri, è altresí vero che tale consumo è in grandissima parte, se non in tutto, compensato dalla ingente quantità di acqua che, sotto forma di vapore, è restituita dai vulcani.

Del resto, anche volendo ammettere una diminuzione nella massa dell'acqua, questa sarebbe cosí lenta, che non sarebbe sufficiente a spiegare i notevoli cangiamenti della linea di spiaggia, che hanno avuto luogo anche in periodi storici.

Profondità marine. — Se, dal considerare la superficie del mare, passiamo a studiare le varie profondità che l'Oceano presenta, ne ritrarremo altri utili insegnamenti, che ci saranno di guida per ricostruire la storia del remoto passato della terra.

Certamente, a chi consideri le numerose isole che sono disseminate nell'Oceano, gli scogli che appena giungono a fior d'acqua, i bassifondi di cui lo scandaglio attesta l'esistenza, non potrà cadere in animo di considerare uniforme il fondo del mare; ché anzi esso presenta rilievi, pianure, valli come la terra emersa; colla differenza però che, non esercitandosi nelle profondità le azioni degradatrici della atmosfera e delle acque correnti, e deponendosi sul fondo nuovi materiali, sia per via meccanica e chimica, sia per l'opera incessante degli organismi, le disuguaglianze secondarie sono molto meno sentite.

Si credé, per causa della imperfezione degli strumenti usati, che, nel mare, vi fossero immensi abissi, la cui profondità giungesse a 15000 e piú metri. Questa cifra è ben lungi dalla verità.

I numerosi scandagli, fino ad ora fatti, hanno portato alla conclusione che la maggiore profondità oceanica di poco differisce dalla maggiore elevazione. Il Gaurisancar si eleva ad 8840 m., e le maggiori profondità sono di 9145 m. nell' Oceano Pacifico, a non grande distanza dalle isole Curili, e di metri 9427, fra le isole Figi e la Nuova Zelanda (a 30° 28' lat. S. e 176° 39' long. W. da Greenwich).

Invece la media profondità dell' oceano, essendo calcolata a 4800 metri circa, è molto superiore alla media elevazione terrestre.

Un' altra idea, che può farsi strada nell' animo del principiante nello studio della natura, è che il fondo del mare sia concavo. Questo sarebbe un errore grossolano. Noi sappiamo che la terra è rotonda e quasi sferica; un oceano si estende adunque sopra una callotta sferica. Perché il fondo fosse concavo, occorrerebbe che, nel mezzo, la profondità superasse la lunghezza della freccia dell' arco con cui può rappresentarsi, in sezione, tale callotta. Ma se ciò fosse, per esempio per l' Atlantico, dovremmo avere una massima profondità di 1.150.000 metri, ossia una profondità 160 volte circa superiore alla piú grande profondità nota in quest' oceano. Dunque il fondo del mare è certamente convesso quando si tratta di oceani. Solo nei mari interni o negli stretti, in cui l' estensione dell' arco è piccolissima, il fondo può essere realmente concavo.

L' Oceano Atlantico non è piú profondo al centro che ai lati; ma, nella sua parte mediana, presenta una costola sollevata, formata da una non interrotta catena di montagne ed altipiani sottomarini, disposta approssimativamente a guisa di una colossale S. Le profondità, osservate lungo questa specie di altopiano sottomarino, oscillano fra i 1500 e i 4000 metri. Ai suoi fianchi, quindi fra esso e le terre emerse, si hanno vaste regioni di depressione, in cui la profondità aumenta fino ai 6000 metri, superando, in limitate regioni, anche questa cifra. Recenti scandagli

hanno trovato al nord di Portorico 8342 metri, ed al sud del Banco di Terranova 8377 m.

Abbiamo già detto quale sia la massima profondità del Pacifico; ma anche presso Nippon, od Hondo (Giappone), si raggiungono gli 8491 m., e all'isole Marianne 8366 m. Alle Cordigliere delle Ande corrispondono, nel vicino mare, profondità persino di 6500 metri; ai monti Warragon nell'Australia, alti 2000 metri, corrisponde nel mare una profondità di 4000 m.

Nell' Oceano Indiano la maggiore profondità è di 5670 metri, presso Sumatra.

E, per ciò che si riferisce agli Oceani Polari, mentre in generale sono poco notevoli le profondità dell' Antartico, nell' Artico si scende sino ai 4850 m., tra la Groenlandia e le Spitzbergen.

Tra i mari interni, quello che piú ci interessa è il Mediterraneo. In questo, incominciando dalla piccola profondità del mare di Asov (13 metri al massimo), si giunge sino a profondità veramente notevoli, quali sono quelle di 4400 metri osservate al sud della Morea. Il bassofondo, che si estende fra la Sicilia e la Tunisia, divide il Mediterraneo in due bacini di notevole profondità. Nel bacino occidentale si scende sino a 3000 metri circa, nell'orientale già abbiamo visto che si arriva ai 4400. L' Adriatico non è molto profondo, poichè giunge al massimo a 1033 m.

Da tutte queste osservazioni risultano due importantissimi fatti:

1° *La maggiore profondità degli oceani non è a grandissima distanza dalla terraferma.*

2° *Il pendío di una costa è tanto piú improvvisamente scosceso e ripido, quanto piú vicina alla spiaggia si eleva una potente massa montuosa.*

Dalle considerazioni fino a qui fatte, tanto sulla distribuzione e sulla forma dei rilievi terrestri, quanto sulla distribuzione delle profondità marine, si viene a queste conclusioni, che è necessario imprimersi bene nella mente:

1° La dissimmetria della profondità del mare è in rapporto diretto colla dissimmetria delle masse continentali.

2° Il fondo marino, meno fosse limitate, che sono concave, è formato da depressioni convesse.

3° Il rapporto tra i rilievi e le profondità è la conseguenza di spinte laterali nella crosta terrestre, per cui si sono formate delle pieghe o si sono originate spaccature, lungo le quali si sollevò una delle parti e si abbassò l'altra. Ma su questa terza conclusione torneremo a suo tempo.

Salsedine. — Che l'acqua del mare sia salata non vi è chi nol sappia; ma non è però ugualmente facile spiegare perché sia salata. Gli autori hanno, a tale proposito, due diverse opinioni: alcuni vogliono che la salsedine del mare si debba attribuire a condizioni originarie, altri, invece, la vogliono dovuta ai materiali disciolti dai fiumi, da essi portati al mare, ed ivi accumulati. Che i fiumi, che passano fra le roccie terrestri, debbano contenere materiali sciolti, è cosa provata da saggi chimici; ma non è meno probabile che l'acqua, la quale da principio trovavasi nell'atmosfera allo stato di vapore, abbia potuto seco trascinare molti dei materiali, che si trovavano in tale atmosfera, e sciogliere quelli che si trovavano nelle prime terre. Il mare fu adunque in origine salato, ed i fiumi seguitarono poi a portarvi materiali sciolti dalle rocce.

Si osservi infatti che, o liberi o allo stato di combinazione, si rinvennero, sciolti nelle acque del mare, quasi tutti i corpi semplici.

Il cloruro di sodio è la sostanza che in maggior copia si trova nelle acque marine. Esso, su 100 parti di materiali disciolti, si trova nella proporzione di 74 a 78 parti. Dopo, per ordine di quantità, vengono: il cloruro di magnesio, dal 6 all'11 %, il solfato di magnesio dal, 5 al 6 %, il solfato di calcio, circa 5 %, il cloruro di potassio, circa 3 ½ %, il bromuro di sodio, da 1 a 1,46 %. Viene ultimo, ed in minima quantità, il carbonato di calcio, che ha importanza grandissima, poiché, assimilato da molti organismi marini, dà origine, come vedremo, ad immense scogliere

e isole di calcare. Ma non basta; il carbonato di ferro, il fosfato di calcio, la silice, non mancano; né mancano ossigeno, azoto, idrogeno, iodio, fluoro, boro, arsenico, rame, argento, oro, zinco, cobalto, manganese, litio ecc.

Lo stabilire la media salinità dell' oceano non è cosa tanto facile, come può sembrare; prima di tutto perché la salinità è diversa nei vari luoghi dell' oceano, poi perché non è nemmeno costante in una medesima regione, ma oscilla col variare di certe cause. In media, la proporzione dei sali disciolti nell'oceano è di circa 34,4 per 1000, e, del solo cloruro di sodio, di circa 26 per 1000. La media salsedine del Mar Rosso giunge a 43 per 1000.

Sono sciolti nell' oceano anche i gas che fanno parte dell' atmosfera.

Non è inutile osservare che le acque dei fiumi portano continuamente sali al mare; ma, fra questi sali, il piú abbondante è il *calcare* mentre è scarso il *cloruro di sodio*. Perché, invece, i mari contengono piú cloruro di sodio che calcare? Prescindendo dal fatto della salsedine originaria dell' oceano, tale dimanda ha facile risposta, quando si consideri che gli animali secretori, che vivono nell' Oceano, consumano una grande quantità di calcare per farne i loro dermatoscheletri.

Distribuzione della salsedine. — Siccome insieme con la elevata temperatura si ha anche notevole evaporazione, e colla evaporazione si ha aumento di salinità, parrebbe che, nei mari che trovansi lungo la linea equatoriale, si dovesse avere salsedine prevalente. Invece non è cosí; poiché nella zona equatoriale piove moltissimo, e ciò serve a diminuire notevolmente la salinità di quelle parti degli oceani che si sviluppano in quella zona.

Nell'Atlantico si hanno due zone di massima salinità: l' una al nord, l' altra al sud, in corrispondenza dei tropici, mentre nella zona di mezzo si ha salinità minima.

Nel Pacifico meridionale la salinità è notevole sí, ma inferiore a quella dell'Atlantico; nel Pacifico settentrionale è ancora piú debole.

L'Oceano Indiano sembra essere quello meno salato. Ma tutti questi oceani sono sempre molto meno salsi del mare Mediterraneo e del Mar Rosso.

Se cerchiamo le cause di tale diversità di salsedine, le troviamo nell'affluenza delle acque meteoriche e nella attività della evaporazione. Le due aree tropicali del nord e del sud dell'Atlantico, sono aree di prevalente evaporazione, perché vi spirano incessantemente i venti alisei, spogli, sul mare, di umidità. Nel Mar Rosso nessun fiume concorre ad equilibrarne la evaporazione. Nel mare Mediterraneo i fiumi sono molti, ma la evaporazione è superiore alla quantità delle acque che essi vi portano; quindi la salsedine aumenta (è in media di 38 per 1000). La corrente superficiale di Gibilterra, che dall'Atlantico entra nel Mediterraneo, dimostra appunto che la evaporazione prevale in quest'ultimo.

Un mare di minima salsedine è invece il Baltico, cui affluiscono abbondanti le acque meteoriche, per mezzo dei fiumi, mentre la evaporazione vi è scarsa.

Col variare della salinità, varia anche la densità delle acque del mare; e, siccome la evaporazione ha luogo alla superficie, è logico che ivi la densità sia anche maggiore. Perciò le particelle superficiali, piú pese, precipitano al fondo, e sono sostituite da altre meno pese; talché si ha uno scambio continuo di particelle dalla superficie al fondo e viceversa. È già questa una delle tante attività di movimento dell'oceano; ed a produrre tale movimento concorre anche la diversa distribuzione della temperatura nelle acque del mare.

La quantità di sali disciolti è notevolissima in alcuni laghi salati: cosí nel Mar Morto. Questo oltre a grande quantità di sale comune e di gesso, contiene anche abbondantissimi il cloruro di potassio, il cloruro di magnesio, ed una notevole quantità di bromo allo stato di combinazione. Il lago Elton, posto sulla riva sinistra del basso Volga, fornisce annualmente parecchi milioni di quintali di sale comune.

Temperatura delle acque del mare. — La variabilità della temperatura, alla superficie dell'oceano, è molto mi-

nore di quella della temperatura della sovrincombente atmosfera; e ciò perché l'acqua esige maggior quantità di calore, per riscaldarsi allo stesso grado di temperatura, di quella richiesta da una stessa quantità d'aria; di piú l'acqua si raffredda anche piú lentamente della superficie solida, poiché la sua irradiazione è piccola.

La temperatura della superficie dell'oceano diminuisce dall'equatore ai poli; e le correnti calde e fredde, di cui fra breve ci occuperemo, ne modificano notevolmente la distribuzione.

La parte nord dell'Atlantico è, alla superficie, piú calda della parte sud; e la differenza aumenta col crescere delle latitudini.

Lo stesso accade, in minor proporzione, tra la parte boreale e l'australe dell'Oceano Pacifico, il quale ha temperatura minore di quella dell'Atlantico boreale, ma superiore a quella dell'Atlantico australe.

La temperatura media piú elevata corrisponde alla parte settentrionale del mare delle Indie.

Assai piú importante è, per noi, lo studio della temperatura nelle profondità oceaniche.

La Fisica ci insegna che l'acqua pura ha il suo massimo di densità a $+4^\circ$ di temperatura, ed il suo punto di congelazione a 0°. Questo non accade nelle acque salate del mare, che, quanto piú si raffreddano, piú diventano dense; e, con una salinità media di 34,4 $^0/_{00}$, il punto di congelazione corrisponde ad una temperatura di $-2^\circ,1$. Ma, coll'aumentare della pressione, si abbassa anche il punto di congelazione dell'acqua, talché, a profondità ove si abbia notevole pressione, la temperatura può discendere anche sotto a -2°, fino a -3°, senza che l'acqua si solidifichi.

Certamente la temperatura diminuisce dalla superficie alla profondità; ma, in alcuni casi, tale diminuzione non si verifica, giacché si trovano, alternati, strati di acqua piú fredda, con strati di acqua piú calda. È vero che le acque piú calde, essendo piú leggiere, dovrebbero sempre sopran-

notare alle fredde; ma conviene ricordare la diversa salinità e la pressione, talché acque piú calde, ma piú salate, possono avere densità maggiore di altre piú fredde, ma meno salate, per cui debbono restare piú basse.

Le esterne variazioni di temperatura non si possono far sentire, nel mare, a grandi profondità, poiché l'azione dei raggi solari giunge al piú alla profondità di 150 a 200 metri. Oltre a questo limite il calore si diffonde per correnti verticali di acqua superficiale, salata, che scende al basso, e di acqua profonda, meno salata, che sale.

Dalle osservazioni fatte, si è potuto concludere che, nei grandi mari, incominciando dalla temp. media annuale della superficie, la temperatura diminuisce negli strati piú superficiali abbastanza rapidamente, poi la diminuzione rallenta gradatamente fino a circa 1000 metri (dai 700 ai 1100), ove si ha la temp. di $+4^{\circ}$. Dai 1100 metri in giú, la diminuzione è ancora meno lenta sino al fondo, ove si abbassa sino a $-2^{\circ},5$, in media, nelle zone polari, e da 0° a $+2^{\circ}$ nelle altre zone.

A spiegare questo notevole abbassamento di temperatura, si ammette che gli strati profondi freddi si muovano dai poli verso l'equatore, talché, quanto piú è ampia la comunicazione degli oceani coi mari polari, tanto piú bassa deve essere la temperatura del fondo di tali oceani.

Avverto che questi sono principî generali soggetti a modificazioni locali, dipendenti sia dalla configurazione del fondo e dai suoi rilievi, sia dalle correnti marine.

Cosí nei mari interni non accade quanto abbiamo detto per gli oceani.

A noi interessa particolarmente il Mediterraneo. Sappiamo che esso è diviso in due bacini dal bassofondo Siculo-Affricano. Nel bacino orientale si ha una media superficiale di $+24^{\circ}$ a $+25^{\circ}$, che si abbassa a circa $+13^{\circ}$ a 183 metri di profondità. Da questo punto la temperatura resta quasi costante sino al fondo. Nel bacino orientale, con una media superficiale di $+26^{\circ},6$, a 365 m. è di $+13,6$, e varia di poco fino al fondo. Si ha dunque una

temperatura che, dopo non grande profondità, si mantiene quasi costante fino al fondo, ed è uguale alla minima media invernale delle acque superficiali.

Tale costanza si osserva anche in altri mari interni. Così nel Mar Rosso, dalla media superficiale di + 32°, la temperatura si abbassa, al fondo, a circa + 22°.

In generale si può dire che i mari interni hanno temperatura uniforme alla profondità, e che essa è uguale alla media invernale della superficie; e se a separarli dall'oceano si trova un bassofondo, come quello dello stretto di Gibilterra (fig. 6), le acque superficiali di tali mari interni, comunicanti coll'oceano, hanno temperatura simile a quella delle acque di questo, mentre gli strati di acqua profonda hanno temperatura uguale alla media invernale delle terre vicine.

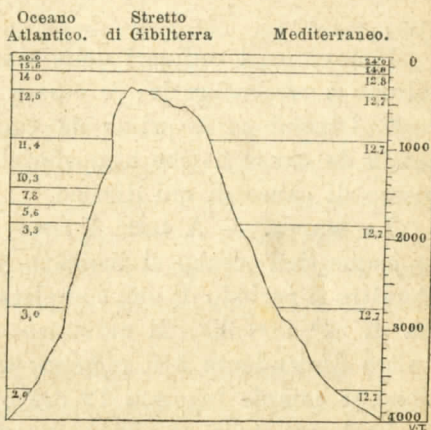



Fig. 6. — Distribuzione verticale del calore nel Mediterraneo e nell' Atlantico presso lo stretto di Gibilterra.

Colore dell'acqua marina. — Per trasparenza, l'acqua del mare è di colore azzurro verdastro. Sarebbe azzurra, se non vi fossero sospese tante minute particelle organiche ed inorganiche, alle quali propriamente è dovuto il tono verde delle acque marine.

Questo in tesi generale; ma è facile capire che il colore può variare per la presenza di sostanze estranee in quantità notevole, o sieno fanghi portati da fiumi, come pel mar Giallo, od alghe microscopiche che colorano in rosso, come pel mar Rosso, o in verde oliva, come pel mare di Groenlandia, colore questo dovuto propriamente alla presenza di numerose Diatomee.

L'acqua marina ha trasparenza notevolmente superiore a quella dell'acqua dolce; ma i raggi luminosi non ne attraversano che uno strato relativamente piccolo. Le esperienze eseguite hanno infatti dimostrato che, oltre i 400 metri, cessa ogni azione luminosa, anche

quella dei raggi ultravioletti, invisibili per noi, ma che si manifestano con reazioni chimiche, impressionando le lastre fotografiche.

Merita anche di essere ricordato un altro fenomeno che ha luogo nel mare, ossia quello della *fosforescenza*, dovuto ad innumerevoli piccolissimi esseri, fra cui principalmente si annoverano le Nottiluche. Questo fenomeno è assai frequente nell'Oceano Indiano, ma non è raro nemmeno nel nostro Mediterraneo. A tale proposito si legga la bellissima descrizione fattane dallo Stoppani in quell'aureo libro che é *Il Bel Paese*.

I MOVIMENTI DELL'OCEANO

I movimenti ordinarî delle masse oceaniche si possono ridurre a tre categorie: *le maree, le onde di vento, le correnti*. Dipendono le prime da cause astronomiche, le seconde da cause fisiche atmosferiche, le terze da un complesso di cause di cui diremo.

La marea. — A tutti è noto che due volte al giorno le acque dell'oceano si inalzano e due volte si abbassano. Peraltro il periodo di una completa marea non è di 24 ore, ma di 24^h 50^m 30^s. Il movimento ascendente è il *flusso*, l'altro discendente è il *riflusso;* talché una intera oscillazione si compie in circa 12 ore e mezzo.

La legge della attrazione universale dice: « Due corpi si attraggono in ragione diretta delle masse ed in ragione inversa dei quadrati delle distanze ». Quali sono i corpi che possono esercitare sull'onde marine tale attrazione? Gli astri senza dubbio. Ma non le stelle, perché troppo lontane; non solamente il Sole, perché anch'esso troppo lontano. L'astro piú vicino alla Terra è la Luna; dunque è alla Luna principalmente che si deve la marea; principalmente ho detto, perché anche il Sole vi concorre, benché in piccola parte, a causa, ripeto, della sua grandissima lontananza.

Per effetto di tale attrazione, quando la Luna passa al meridiano di un luogo, le acque si sollevano, dando luogo all'alta marea, e nel medesimo tempo si ha pure l'alta marea agli antipodi.

La ragione per cui si debbano avere questi due opposti sollevamenti di mare, sul medesimo meridiano ed al momento del passaggio della Luna, non è ancora chiaramente spiegata. « Considerando però la condizione di equilibrio dei liquidi, e componendo la forza di gravità terrestre colla forza diretta verso la Luna, si trova che la superficie dell' acqua si rigonfierà là dove la retta passante pei centri dei due astri la incontra, e si abbasserà lungo il circolo massimo che le è perpendicolare ». (Roiti, *Elem. di Fisica,* Parte II, pag. 208, 1896).

La marea prodotta dal Sole è molto piú debole della marea lunare.

È logico che la intensità della marea non sia in ogni epoca la medesima, dipendendo essa dalle posizioni diverse che hanno Sole e Luna tra loro e rispetto alla Terra. Quando gli effetti dell' attrazione del Sole e della Luna si sommano, ossia questi due astri sono in congiunzione e in opposizione, si ha una marea piú potente; nelle quadrature gli effetti delle due attrazioni si sottraggono e la marea è piú debole.

Di piú, l' intensità della marea varia anche a seconda che la Luna è all' apogeo od al perigeo; cosí è maggiore quando la Luna è al perigeo, ossia piú vicina alla terra, minore quando é all' apogeo, ossia piú lontana. La marea è poi, riguardo al Sole, maggiore al perielio (d' inverno) minore all' afelio (estate).

Oltre a queste variazioni, dovute a cause astronomiche, l' intensità della marea ne subisce altre per cause geografiche, quali la profondità e la ampiezza dei mari, la configurazione delle spiaggie, ecc.

L'onda di marea si trasporta di meridiano in meridiano, ma non con andamento regolare, giacché i continenti e le isole, in cui si imbatte, le oppongono vari ostacoli. Ciò provoca, in un colle altre cause di cui ho detto, grande diversità di marea nei diversi luoghi, ed un ritardo anche nell' arrivo dell' onda di marea, ritardo che, nei vari porti, indicasi col nome di *stabilimento del porto* od *ora di porto,*

e che può quindi definirsi: *il ritardo dell'alta marea sull'ora del passaggio della luna, al meridiano, nel giorno della sizigia.* Alla sizigia la luna passa al meridiano a mezzogiorno, se è *luna nuova*, a mezzanotte, se è *luna piena.* Riunendo con linee, sopra una carta, i punti in cui la marea si fa sentire nel medesimo istante, si ha la carta delle *isorachie* o *cotidali.*

Nel Golfo di Bengala, nella Manica, nella baia di Fundy si hanno maree elevatissime; anzi nella baia di Fundy (Nuova Scozia) è in media di 22 metri, ma può giungere sino a 30 metri e piú. Notevolissima è ancha la marea nel golfo di California.

Nel Mediterraneo invece le maree sono pochissimo sentite. Infatti a Livorno si ha una marea di appena 30 centim., di 90 centim. a Venezia, e giunge solo a 2 o 3 metri nei golfi della Grande e della Piccola Sirte (Affrica Settentrionale).

Un' azione notevole sull' altezza della marea è esercitata dai venti, che, sommando gli effetti della loro azione a quelli dell' azione della Luna e del Sole, o da questi sottraendoli, possono aumentare, diminuire o annullare l' altezza della marea. Cosí, se il vento è impetuoso, sulla costa della Tasmania non si ha che una marea in tre giorni.

Negli oceani l'onda di marea si trasporta con grandissima rapidità da oriente in occidente, seguendo il movimento apparente della Luna. Nell'Atlantico percorre 10000 chilometri in 15 ore. Tale velocità è, peraltro, minore dove il mare e poco profondo.

Ma non bisogna credere che sia la massa acquea che si trasporta da un punto ad un altro; è solo il movimento oscillatorio che si comunica di particella in particella acquea. Soltanto presso le coste, tale movimento ondulatorio si trasforma, in seguito alla diminuita profondità, in vero movimento di trasporto, e diviene un potente agente di modificazione delle coste stesse. Cosí la penisola a forma di falce, che cinge il porto di Messina, è dovuta in gran

parte ad un interramento per mezzo di materiali accumulati dalle correnti di marea e dalle mareggiate.

Quando l'onda di marea giunge alla foce di un fiume, non si arresta, ma risale a monte, elevando notevolmente il livello delle acque, sia per la resistenza opposta dalla corrente del fiume, sia per la ristrettezza del letto. Nel fiume delle Amazzoni, agli equinozi, l'onda di marea risale il fiume fino oltre i 900 chilometri dalla foce, provocando un tale violento urto colle acque del fiume, da sentirsi a grande distanza. Tale fenomeno è chiamato dai nativi *pororoca*. Le *barre* della Senna, ed i *mascaret* della Gironda, che rassomigliano a muraglie di acqua risalienti il corso del fiume, sono dovute alla marea.

Il celebre *Mael-Strom*, di cui tanto si è favoleggiato, vortice spaventoso presso le isole Lofoti (Scandinavia), è dovuto all'interferenza di due sistemi di onde di marea.

Anche nei grandi laghi, specialmente se la loro maggior dimensione si sviluppa nel senso dei paralleli, si può verificare il fenomeno della marea.

Le onde di vento. — Le onde sono movimenti prodotti dal vento; per conseguenza non presentano, per gli stessi luoghi, regolarità o periodicità alcuna. La loro velocità e dimensione aumentano colla forza del vento, colla sua inclinazione sullo specchio delle acque, colla profondità del bacino in cui le onde si formano. Nel Mediterraneo, ed in alto mare, le maggiori onde non superano i 4 o 5 metri di altezza. Le onde piú colossali sono quelle, alte dai 15 ai 18 metri, osservate al Capo di Buona Speranza. Cifre piú elevate, in alto mare, benché citate, sono di una esagerazione notevole.

Ma presso la spiaggia, siccome l'attrito sul fondo rallenta il movimento dell'onda, la sua forza viva si trasforma in moto verticale, talché l'onda si frange, e può lanciarsi alla costa con altezza veramente notevole. Al solito è presso la spiaggia che il moto ondoso si trasforma in moto di trasporto.

Si possono distinguere diverse sorta di onde di vento, cioè: *onde di mare vecchio*, che si formano in mare profondo dopo una burrasca, *onde di mare nuovo*, che annunziano la tempesta, *marosi*, dovuti ad un vento assai forte, *flutti*, dovuti a vento forte, *onde semplici*, dovute a vento moderato.

La velocità dei marosi, con mare molto agitato, può giungere sino a 40 miglia all' ora.

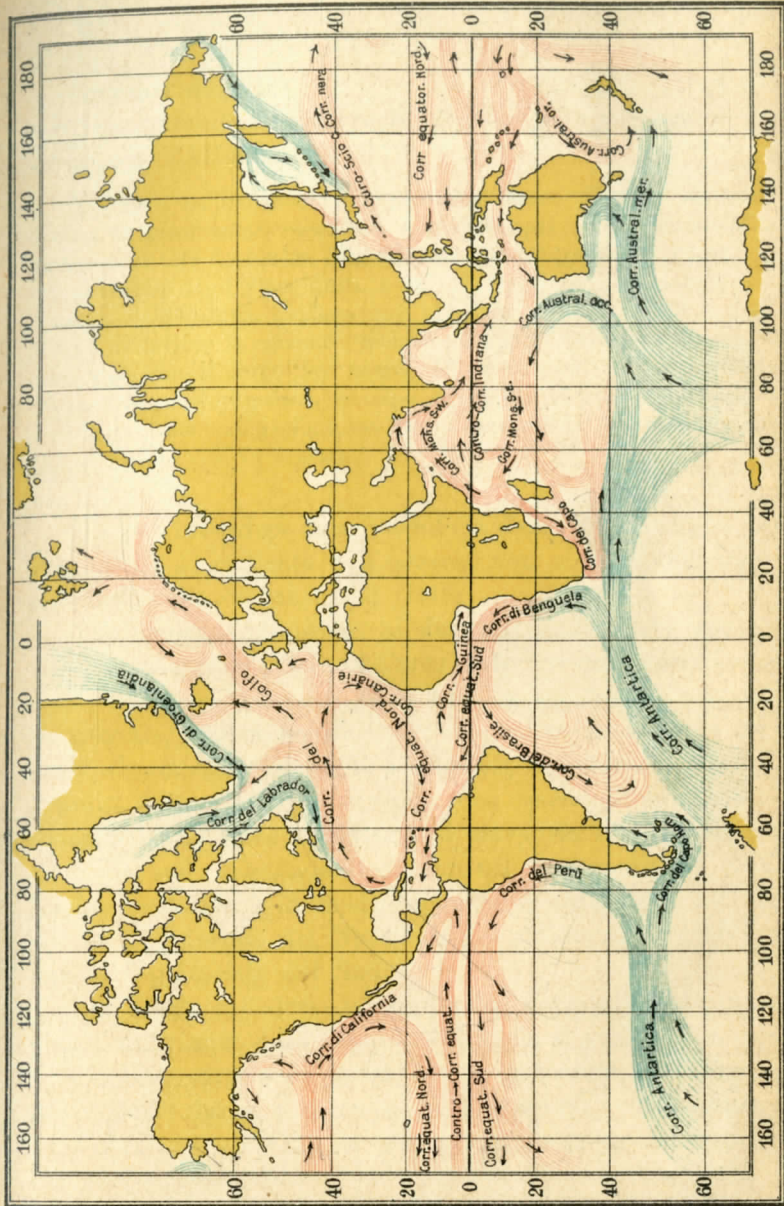
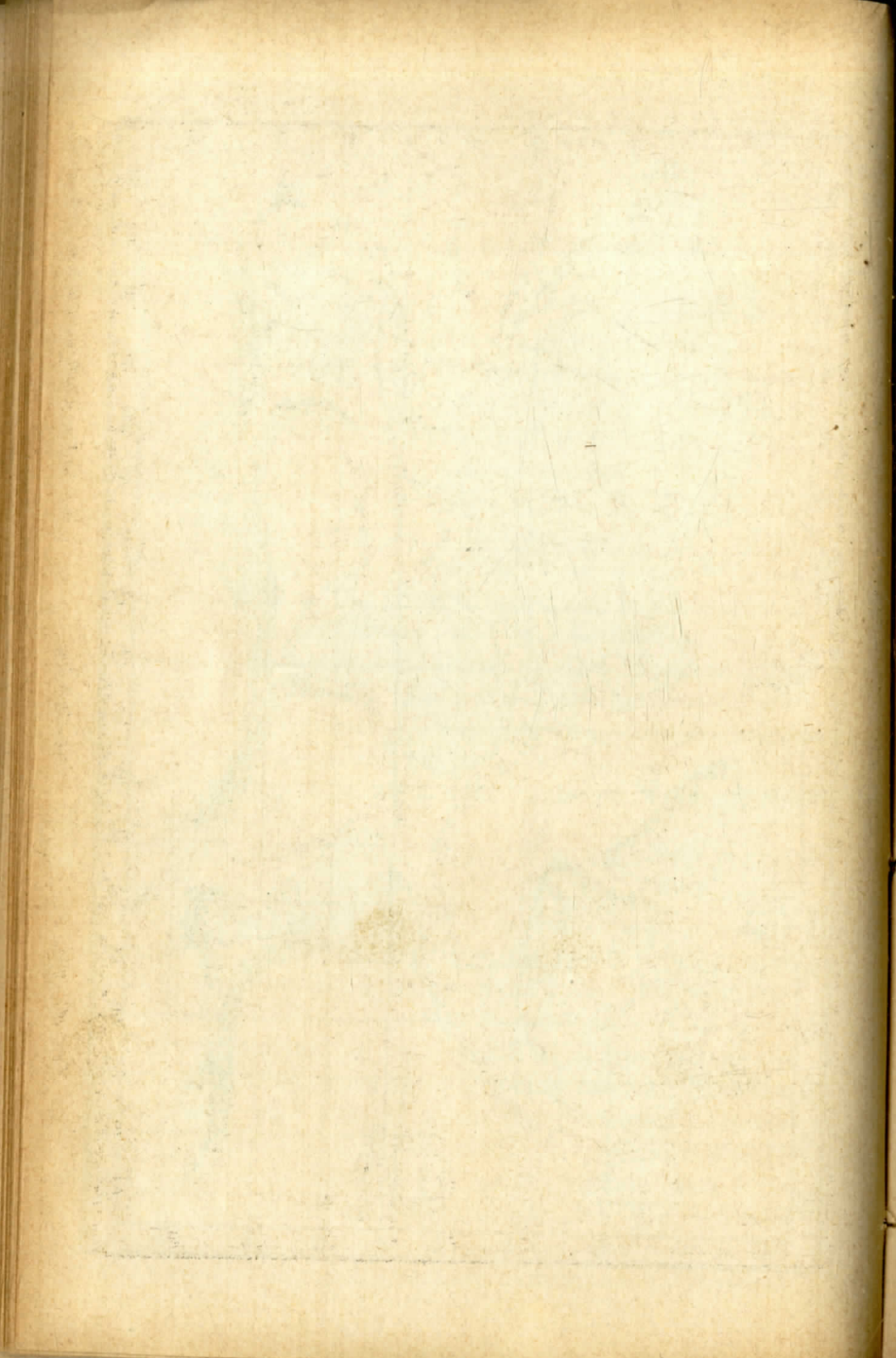
Il movimento ondoso non si spinge a grandi profondità. Si è infatti calcolato che, alla profondità di oltre 350 volte la propria altezza, un' onda non è piú perfettamente sensibile. Anzi, oltre i 150 o 200 metri, si trasmette piú una vibrazione che un vero movimento ondoso.

Talvolta i marosi, prodottisi in alto mare per effetto di un violento uragano, si propagano verso la costa diminuendo di lunghezza ed aumentando in altezza, in causa della diminuzione della profondità marina; cosí che, giunti presso la spiaggia, sollevano i materiali del fondo, e talvolta svellono fin le ancore dei bastimenti. Queste *rigatte* (cosí sono chiamate) comuni alle Antille, alle coste del Coromandel, e tanto disastrose, non vanno confuse coi *maremoti*, pur disastrosissimi, che sono invece conseguenza di scosse di terremoto avvenute sul fondo del mare, di cui diremo in seguito.

Presso la spiaggia, e sul fondo, il movimento dell'onda si trasforma in un movimento alternato, ora verso la spiaggia, ora verso l'alto mare. Vi è però una linea, chiamata *linea neutra*, in cui il flutto che arriva, fa equilibrio al flutto che ritorna. Ivi i materiali del fondo godono di relativa stabilità.

Correnti marine. — In alcuni libri si trovano definite le correnti marine come *fiumi* di acqua marina. Ma se noi consideriamo come letto di questi fiumi colossali lo strato acqueo sottoposto, ove il movimento di corrente non si fa sentire, vediamo che spesso il pendío di tale letto è in senso inverso alla direzione del movimento. Ora, essendo difficile concepire un *fiume che risale* una pendenza, si dovrebbe bandire la sopra accennata definizione. Le correnti

CORRENTI MARINE

G.C. Sansoni Ed.-Firenze.

Correnti calde. *Correnti fredde.* → *Le freccie indicano la direzione delle correnti.*

marine altro non sono che un mezzo di scambio delle acque del mare, sia alla superficie, sia alla profondità, da una località ad altra.

Correnti dell'Atlantico. — La corrente piú universalmente conosciuta è la *corrente del Golfo* (Gulf-Stream), che attraversa l'Atlantico da S-W a N-E.

È questa un'imponente e gigantesca massa d'acqua in movimento, da gran tempo osservata e studiata per gli interessi della navigazione. Ne fu tenuto grandissimo conto durante la guerra di Indipendenza degli Stati Uniti. I navigli americani, nel tornare in America dall'Europa, impiegavano 14 giorni meno di quelli inglesi, perché evitavano la corrente, mentre ne approfittavano nell'andata, riconoscendone il corso per mezzo del termometro. Fu il Franklin che scoprí come si poteva mettere a profitto la corrente marina a vantaggio della navigazione, ma tenne nascosta la sua scoperta finché la guerra non fu cessata.

Ma per intendere bene l'armonia della distribuzione dei movimenti di corrente nell'oceano, non ci conviene incominciare dalla corrente del Golfo.

Nell'Oceano Atlantico, ai due lati della linea equatoriale, si osservano (Vedi la *Carta delle correnti marine*) due correnti, che si muovono da oriente in occidente, l'una settentrionale, l'altra meridionale, che hanno il nome di *corrente Equatoriale del Nord* e *corrente Equatoriale del Sud.* I limiti di queste due correnti sono variabili con le stagioni, giacché tutto il sistema si trasporta ora piú a nord or piú a sud, seguendo il movimento apparente del Sole. La loro velocità è in media di circa 4 chilometri all'ora per la Equatoriale del Nord, e di 5 chilometri e $^1/_2$ all'ora per la Equatoriale del Sud.

Fra l'una e l'altra di queste due correnti calde, a ristabilire in certo qual modo l'equilibrio, si avanza una controcorrente, diretta da ovest ad est, la *corrente di Guinea,* piú o meno larga a seconda delle stagioni, con temperatura elevata (+ 29° C.), ed originata dalle acque stesse delle correnti equatoriali.

La corrente Equatoriale del Sud, battendo contro il

Capo S. Rocco, nell'America meridionale, si divide in due rami, uno dei quali costeggia il Brasile, l'altro si volge a nord e penetra nel mare dei Caribi. Insieme ad essa penetra, nel medesimo mare, anche una porzione della corrente Equatoriale del Nord, mentre un'altra parte di quest'ultima bagna le Antille al lato orientale, spingendosi sino presso alla Florida, col nome di *corrente delle Antille.*

La corrente che procede nel mare dei Caribi, è detta *Caribica* o *Caribea;* ed, attraverso al canale di Iucatan, entra nel golfo del Messico. Ivi costeggia le spiagge di questo Golfo, giunge allo stretto di Florida, lo attraversa, spingendosi nuovamente nell'oceano; e, riunendosi al ramo orientale della corrente Equatoriale del Nord, dà origine alla *corrente del Golfo.*

Avverto però che, da alcuni autori, si suole conservare, alla porzione di corrente compresa fra lo stretto di Florida ed il 40° meridiano (long. occid. da Greenwich), il nome di *corrente della Florida.* Tale corrente raggiunge, nello stretto di Bemini, una profondità di 365 metri; e siccome va, mano mano, allargandosi, va anche, a poco a poco, a diminuire la sua profondità e velocità. Alla superficie ha una temperatura di +30°, che diminuisce rapidamente colla profondità. Tale temperatura rende le acque della corrente molto leggiere, dal chè pare si possa desumere che esse si elevano, sul livello generale dell'Atlantico, di circa 60 centimetri.

La vera *corrente del Golfo* si divide in numerosi rami, di cui il principale si spinge fra l'Islanda, le isole Britanniche e la Scandinavia; un altro ramo bagna la costa occidentale della Groenlandia; un terzo, ripiegandosi lungo le coste della Spagna, torna ad unirsi alla porzione nord della corrente Equatoriale, formando un ampio circolo, nel quale si raccolgono in gran numero delle alghe galleggianti del genere *Sargassum,* formando il *mare di Sargasso,* attraversato da Colombo nel suo primo viaggio.

La potentissima corrente del Golfo si fa sentire anche a grandi profondità, e si spinge sino alle lontanissime terre polari, quali la Nuova Zembla e la Nuova Siberia, come

ce lo attestano i tronchi di vegetali di origine americana, che trovansi trasportati sino in quelle fredde regioni.

Volgiamo ora il nostro sguardo alla porzione meridionale dell' Atlantico.

La porzione della corrente Equatoriale del Sud, che si spinge lungo le coste del Brasile, è nota col nome di *corrente Brasiliana*. Al 35° di lat. Sud, la massima parte di essa piega ad oriente, attraversando l' Atlantico fin verso il Capo di Buona Speranza, per ripiegarsi poi a nord col nome di *corrente di Benguela,* unita ad una corrente fredda che viene dal sud (da cui la bassa temperatura), lungo le coste occidentali dell' Affrica; essa si riunisce poi di nuovo alla corrente Equatoriale.

Dal nord e dal sud entrano nell' Atlantico alcune importanti correnti di temperatura bassa.

Una corrente fredda, fra lo Spitzberg e la Groenlandia, si spinge verso il sud, riunendosi ad altra corrente fredda che viene dalla baia di Baffin e dallo stretto di Davis. Essa costeggia le coste del Labrador, col nome di *corrente del Labrador*. Provenendo dalle regioni artiche, e costeggiando le terre artiche, tale corrente trasporta enormi massi di ghiaccio, che sono strappati ai ghiacciai artici, i quali si protendono sino al mare.

Tali montagne di ghiaccio, contengono ciottoli, sabbie, frammenti di roccie, come li contengono i ghiacciai, talchè esse, giunta la corrente fredda all'incontro colla calda corrente di Florida e squagliandosi il ghiaccio, abbandonano i materiali contenuti, che precipitano al fondo. Tale è, secondo il Maury, l'origine del celebre banco di Terranova, il quale si trova appunto là dove la fredda corrente artica incontra la calda della Florida. Vi è però chi obietta che il ghiaccio di tali montagne galleggianti è limpidissimo, e non contiene materiali estranei in grande quantità; per tali autori, il banco di Terranova avrebbe origine da materiali trasportati dalla corrente e contenuti nei ghiacci che si formano per congelazione della superficie dell' Oceano lungo le coste. Essi impigliano i materiali costieri, e sono staccati dalla costa per opera delle correnti, delle onde di vento, del disgelo; talchè, trasportati verso sud nella corrente del Labrador, si sciolgono dove incontrano la corrente calda, ed abbandonano sul fondo i materiali che contenevano.

Al Banco di Terranova la corrente del Labrador si divide: una parte si stende lungo la costa degli Stati Uniti, arrecando ivi clima tutt'altro che mite, e, nello stesso tempo, essendo sede di famose pésche; un' altra porzione passa sotto la corrente calda, e lo dimostrano i ghiacci galleggianti, che, talvolta, pescando colla parte sommersa nella corrente fredda sottomarina, sono trasportati sino alle Antille.

Dall' Oceano Antartico entra nell' Atlantico una corrente fredda, quella del *Capo Horn,* che è un ramo di una vasta corrente, che dall' Antartico si spinge, con grande potenza, principalmente nel Pacifico.

Correnti dell' Oceano Pacifico. — Nell'Oceano Pacifico si ripetono quasi le identiche condizioni osservate nell'Atlantico.

Abbiamo, da oriente in occidente, una vasta corrente Equatoriale, divisa nel ramo Nord e nel ramo Sud, fra i quali, in senso inverso, si ha la controcorrente equatoriale.

La corrente Equatoriale del Nord, in prossimità delle coste delle isole Filippine e di Formosa, si piega a N-E, si lancia attraverso al Pacifico, formando la più imponente fra le correnti oceaniche, che ha una grande somiglianza colla corrente del Golfo. Pel suo colore scuro i Giapponesi l'hanno chiamata Curo-Scio (Corrente nera). Una porzione di questa corrente, battendo contro l'America, si ripiega in basso (*corr. di California*) e si riunisce alla corrente Equatoriale del Nord. Un'altro ramo si sviluppa contro le coste orientali del Camciatca, e, dopo avere spinto alle isole Aleutine una diramazione, penetra nell' Oceano Artico, per lo stretto di Bering.

Presso Formosa il Curo-Scio ha + 25° di temperatura.

Dal nord, attraverso allo stretto di Bering, si ha una corrente freddissima, che penetra nel mare del Giappone, fino al canale che è fra il continente e Formosa.

La corrente Equatoriale del Sud, in causa delle isole della Polinesia, è tutt' altro che regolare; poiché si scompone in ramificazioni numerosissime, che si spingono attra-

verso a quel laberinto di isole. Uno dei rami principali è la *corrente Australiana Orientale*, che piega poi a sud ed in seguito ad est, spingendosi fin presso alla Nuova Zelanda.

Ma dal polo antartico giungono al Pacifico due importantissime correnti. L'una, che al capo Horn manda anche un ramo all' Atlantico, si spinge, colle sue fredde acque, lungo le coste dell' America del Sud, col nome di *corrente di Humboldt;* l' altra, detta *corrente Australiana del Sud*, si sviluppa lungo le coste della Tasmania, spingendosi nel Pacifico.

Correnti dell' Oceano Indiano. — Nell' Oceano Indiano manca la corrente Equatoriale del Nord e si ha solo la porzione Sud della medesima corrente. Essa si spinge da est in ovest, fino alle Mascarene, ove dà origine a tre rami, di cui il principale entra nel canale di Mozambico col nome di *corrente di Mozambico;* un altro ramo si ripiega verso est, venendo a formare una specie di controcorrente equatoriale e spingendosi sino a Sumatra ed alla Cina; il terzo, dalle coste orientali di Madagascar, che ha lambito, si unisce alla corrente di Mozambico e si ripiega poi ad est fino al continente australiano. La corrente antartica, che ha dato origine alla corrente australiana del Sud, forma, con una sua ramificazione, la *corrente Australiana occidentale*, che lambe le coste occidentali dell'Australia, e si ripiega a formare la corrente Equatoriale del Mare delle Indie.

Correnti nei mari interni. — Siccome il Mediterraneo, in conseguenza della sua notevole evaporazione, che non è controbilanciata dall'afflusso di acque che vi portano i fiumi, è molto piú salato dell' Oceano, cosí è naturale che avvenga fra l'uno e l'altro uno scambio di acqua, per cui quella piú salata del Mediterraneo è riversata nell'Atlantico, e quella meno salata dell'Atlantico affluisce, per legge di compenso, nel Mediterraneo. Abbiamo infatti, nello stretto di Gibilterra, una corrente superficiale, che dall'Atlantico penetra nel Mediterraneo, formata di acque meno salate e quindi

più leggere, ed una corrente profonda, di acque più pesanti, che dal Mediterraneo si spinge nell'Atlantico.

Nel mar Nero, la evaporazione essendo vinta dalla affluenza delle acque fluviali, si ha una corrente rapidissima superficiale, che, attraverso il Bosforo e i Dardanelli, si riversa nell'Egeo, ed una profonda in senso inverso.

Le acque del mare Baltico, pochissimo salate, producono correnti superficiali dal Baltico al Cattegat, profonde invece dal Cattegat al Baltico.

Nel mar Rosso la evaporazione è massima e l'affluenza delle acque è nulla o quasi nulla, talché si ha una corrente superficiale ed una profonda attraverso lo stretto di Bab-el-mandeb.

Nel nostro Mediterraneo (e lo stesso si dica per altri mari), oltre alle correnti originate da diversità di salsedine, si hanno anche quelle prodotte dallo spirare dei venti, che inducono un movimento nelle particelle superficiali dell'acqua. Cosí è per effetto del Libeccio, che, dominando lungo la costa occidentale dell'Italia e le rive orientali dell'Adriatico, si hanno lungo questa costa correnti con direzione da S-E a N-W; mentre le coste orientali d'Italia, in conseguenza dei venti di settentrione e greco, sono lambite da una corrente diretta da N-W e S-E. Tali correnti, che si muovono quindi da sinistra a destra per chi dalla costa guardi il mare, non sono a ridosso alla spiaggia, ed hanno velocità piccolissima.

Nello stretto di Messina passa una corrente, la *rema montante*, diretta a nord, ed è prodotta dalla marea, seguita da altra corrente, diretta a sud, detta *rema scendente*. Esse originano, in conseguenza della diversa profondità e delle anfrattuosità della costa, delle correnti laterali, cui si debbono i vortici (Cariddi e Pezzo).

Cause delle correnti marine. — Il torto di molti autori fu quello di volere, ad un fenomeno cosí vario come quello delle correnti, attribuire una causa unica, e generalizzare. Certamente le coincidenze non mancano, ed eccone le principali:

1° Le correnti equatoriali procedono da oriente in occidente in tutti e tre gli oceani che si trovano sulla linea equatoriale.

2° In tutti e tre gli oceani vi è uno scambio di acque, effettuato da correnti che vanno dai poli all' equatore o da questo a quelli.

3° In tutti e tre gli oceani abbiamo controcorrenti equatoriali.

4° In tutto l'emisfero boreale le coste orientali sono bagnate da acque fredde; nell' emisfero australe invece sono bagnate da acque fredde le coste occidentali.

Queste sono le sole generalizzazioni che è concesso di fare; ma da questo al volere attribuire alle correnti marine una sola causa ci corre, e molto.

Le correnti sono dovute al complesso di varie cause; anzi si può dire che *le correnti sono le risultanti di tutte le circostanze che turbano l'equilibrio nella statica del mare.* Fra queste cause debbono annoverarsi: la rotazione della terra, lo spirare dei venti costanti, la diversa distribuzione della temperatura, la diversità della salsedine, l'azione dei venti periodici che possono originare temporaneamente correnti marine o temporaneamente modificare le correnti continue, la forza centrifuga e l'aumento della gravità dall'equatore ai poli, le maree, l'azione degli animali secretori che, togliendo alle molecole marine i sali che sono ad essi necessari per fare i loro dermatoscheletri, producono in quelle molecole un disequilibrio, e finalmente la forma dei bacini marittimi.

Parmi sufficientemente chiaro da sé il modo di agire di queste cause diverse, senza che sia necessario diffonderci ad esaminarle una per una.

Effetti delle correnti marine. — Trattandosi di correnti, la cui temperatura è generalmente diversa da quella della massa oceanica attraverso la quale scorrono, si capisce facilmente quale influenza esse possano esercitare sul clima delle terre che costeggiano o contro le quali vanno a battere. La corrente del Golfo, per esempio, spingendosi contro

l'Inghilterra, ne rende relativamente mite il clima, mentre il Labrador, che è alla stessa latitudine dell'Inghilterra, è terra di grande rigidità di clima, tanto piú che, a rendere rigido il clima del Labrador, concorre anche la fredda corrente che viene dal Nord. E la stessa corrente del Golfo, spingendosi sino ad alcune lontanissime terre, vi porta, sia pur lieve, il beneficio delle sue tepide acque, mitigandone gli intensi freddi, nel modo istesso con cui le gelate correnti polari scendono verso l'equatore a renderne piú mite il calore.

Né l'influenza delle correnti si esercita solo sul clima delle terre emerse, ma anche sulla distribuzione della temperatura nell'oceano, permettendo che la vita animale e vegetale possa diffondersi in questo; il che non sarebbe possibile, se si avesse all'equatore un mare caldissimo ed ai poli due mari freddissimi, senza scambio di acque fra l'uno e gli altri.

I legnami fluitati e trasportati fino alle terre polari sono un altro degli effetti delle correnti, ma non certo dei piú importanti.

Importantissima è invece l'influenza che esse hanno sulla distribuzione della salsedine nell'oceano, sviluppando una condizione favorevolissima alla vita oceanica, specialmente per gli animali secretori, i quali, come abbiamo piú volte ripetuto, consumano continuamente sali per formare i loro dermatoscheletri.

Di piú, le correnti marine hanno anche per effetto la diffusione di organismi. Infatti i semi di piante, protetti da nocciolo duro e resistente alla corrosione delle acque, possono essere trasportati dalle correnti da una terra ad un'altra, ed ivi germogliare e svilupparsi. La maggior parte delle isole vulcaniche e coralline deve alle correnti un gran numero dei suoi primitivi abitatori.

Cosí anche piante ed animali marini possono venire trasportati da un luogo ad un altro.

Ed, a concludere, ricordo gli effetti meccanici delle correnti, per cui sono notevolmente modificati i delta fluviali

(es. delta del Mississipi), trasportati fanghi e sabbie, così che le correnti divengono i principali fattori della sedimentazione nelle profondità oceaniche.

AZIONE EROSIVA DEL MARE ED APPARECCHI LITTORALI

Erosione marina. — Il mare è il più vorace fra tutti gli agenti che tendono a distruggere le terre. Noi già sappiamo che, per effetto della marea o del vento, o per effetto combinato di queste due cause, le onde possono raggiungere altezze straordinarie, e, precipitandosi contro le spiagge, strapparle a brani a brani, asportandone i frammenti.

Abbiamo già parlato della altezza delle onde; ma, per notare la violenza con cui le onde battono la costa, basti ricordare che il faro di Eddystone è battuto talora da onde alte ben 50 metri, e ravvolto in una massa d' acqua di circa 2500 metri cubi; basti sapere che le onde di tempesta possono spingere, e trasportare per vari metri, blocchi del peso di 100 quintali, esercitando pressioni superiori a 30000 chilog. per metro quadrato. La pressione media esercitata dalle onde è di 3000 a 3500 chilog. per m. q.

Da ciò si rileva la grande potenza delle onde alla superficie; ma non è alla superficie soltanto che esse fanno sentire la loro azione, benché in profondità questa sia limitata a non grande distanza dalla riva. Lo Stoppani considera a 30 metri di profondità il *massimo* cui può spingersi normalmente l'azione meccanica delle onde; ma, anziché come il massimo, quella cifra potrebbe considerarsi come un minimo, poiché in realtà le onde fanno sentire i loro effetti sino a 50 metri distintamente, e a 100 e 200 m. sono ancora capaci di smuovere i fanghi del fondo; e si calcola anzi, come già dicemmo, che la propagazione dell'onda in senso verticale si verifichi fino ad una profondità che superi di 350 volte l'altezza dell'onde; ma l'azione meccanica si può, in tal caso, considerare nulla.

Le onde, in prossimità della spiaggia, hanno, anche in mare non agitato, la forza di trascinare con sé, non solo le sabbie, ma anche i ciottoli del fondo. Se la costa è a

lieve pendenza questi ciottoli vi si depositano, senza produrre grandi azioni; se è invece diruta, essi la battono insieme all'onda, aumentando cosí la potenza distruttiva di questa. In tal guisa le porzioni inferiori di queste spiagge piú o meno verticali, continuamente battute, si sfasciano, e, togliendo l'appoggio alle parti superiori, anche queste precipitano in mare (fig. 7); cosí lungo la spiaggia di Chiavari l'avanzarsi

Fig. 7. — Spiaggia di Vernazza nella Riviera di Levante. Esempio di corrosioni prodotte dal mare.

del mare è notevolissimo: dal 1862 al 1884 il regresso della spiaggia fu di circa 60 m.

Ne deriva che, per queste coste ripide, dovrà a poco a poco formarsi, entro il limite dell'azione meccanica delle

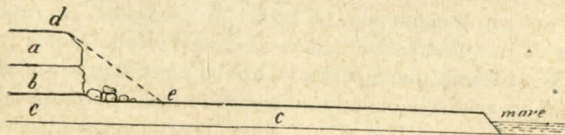



Fig. 8. — Antico ripiano prodotto per erosione marina in Francia (Abesse presso Dax, dipartimento delle Landes) *a*, sabbia - *b*, calcare - *c*, argilla - *d-e*, profilo di un'antica scarpa di sabbie mobili (dal Lyell).

onde, una piattaforma, che, semplice nei luoghi ove la marea è debole (fig. 8 e 9), potrà essere multipla in quelli ove si ha grande elevazione di marea, formando cosí una serie di gradini o *terrazzi*, che possono anche formarsi in

seguito ad un lento movimento di sollevamento della costa e che sono simili a quelli originati nelle valli per opera dei fiumi.

La rapidità con cui il mare distrugge le rive non è sempre uguale; ed infatti essa dipende, non solo dalla potenza della marea e dalla forza delle onde di vento, ma anche da varie altre circostanze, quali la natura delle rocce che formano la spiaggia, la configurazione di essa ed i suoi movimenti.

Quanto alla natura delle spiagge, si intende bene che quelle formate da rocce meno dure o costituite da materiali incoerenti saranno anche quelle piú facilmente distrutte. L'isola Giulia, formatasi per opera di un vulcano sottomarino, con materiali detritici, fu in brevissimo tempo distrutta dal mare.

Fig. 9. — Formazione di una piattaforma sottomarina littorale per l'azione erosiva del mare. *ACD*, profilo originale della costa. - *CBA*, insenatura d'erosione. - *CEFD*, materiali accumulatisi nel mare, dopo strappati da *CBA*. (dal De-Lapparent).

Anche il limite fra la terra ed il mare è tutt'altro che fisso; e, nelle coste che si abbassano, sempre nuovo materiale è offerto alla azione distruttiva del mare; mentre a questa ne tolgono le spiagge che si sollevano. Un effetto dell'erosione marina è anche la formazione di isole dinanzi alla costa, isole che il mare forma staccandole dalle terre, favorito dall'abbassarsi della costa stessa.

Ma per quanto potente possa essere l'azione erosiva del mare, nondimeno non è atta a scavare nelle coste spaccature molto profonde; e, se queste si trovano, è necessario ricercarne l'origine nell'azione delle acque correnti sulla libera superficie del suolo; solo in seguito, tali spaccature furono sommerse per l'abbassamento della costa. Tale deve essere l'origine dei *rias* della Spagna, nome con cui si indicano baie che si internano dai 10 ai 20 chilometri,

come quella di Vigo: in esse si riconosce la natura di antiche vallate torrenziali, ora in gran parte sommerse.

I *fiordi* (*fiord*) della Norvegia, della Patagonia, della Nuova Zelanda (spaccature strette, a ripidi fianchi, che si ramificano e si internano nella terra persino piú di 100 chilometri), sono dovuti, con tutta probabilità, a notevoli sprofondamenti; in alcuni si riconoscono le tracce della presenza di antichi ghiacciai, i quali, occupandoli nel tempo della sommersione, hanno impedito loro di colmarsi, ed hanno protetto le loro pareti dall'erosione e dalla distruzione che sarebbero avvenute per mezzo delle piogge.

Fig. 10. — Spiaggia dell'Adriatico dalla foce del Sile sino a Cervia (dal Fischer).

Apparati littorali. — I materiali, dal mare strappati alla spiaggia, sono da questo rimaneggiati, spezzati, arrotondati e trasformati in ghiaia, ciottoli, sabbia, fanghi. Essi sono dalle onde spostati lungo le coste, oppure sono trasportati da correnti, e si depositano nelle incavature e sulle parti piatte delle spiagge. In questo ultimo caso l' onda proietta sulla spiaggia i ciottoli e le sabbie che contiene, e, tornando indietro, è impotente a ritrascinarli seco, od almeno non trascina che i materiali piú leggeri, lasciando al loro posto i ciottoli. Ne deriva che, a poco a poco, si formano dei monticelli, i quali

possono superare persino di 4 o 5 metri il livello dell' alta marea. Molti di tali monticelli formano una serie di dighe, cui si dà il nome di *apparato* o *cordone littorale.*

Se questo cordone littorale supera il livello dell' alta marea, può separare dall' oceano una parte dell' antica spiaggia marittima, può, in altre parole, formare delle *lagune.* È da notare che i cordoni littorali, situati a distanza dalla spiaggia, non si formano che dove la marea è poco importante. Cosí si sono formate le lagune di Venezia e di Comacchio in Italia (fig. 10), quelle di Florida e di Texas nel golfo del Messico, e le lagune del Baltico.

Le lagune di Venezia e di Comacchio sono artificialmente conservate e protette contro l' interramento che avverrebbe per opera dei fiumi. Le lagune che si estendono al nord di quella di Venezia ed al sud di quella di Comacchio sino alle saline di Cervia, sono invece interrate. Altre due lagune si trovano presso il Gargano, ossia quelle di Lesina e di Varano, antichi seni di mare trasformati in lagune per opera delle onde marine, delle correnti e delle alluvioni fluviali.

Nelle spiagge frastagliate i materiali detritici si dispongono nelle insenature, riunendo le varie sporgenze, ricolmandole a poco a poco, ed ammorbidendo in tal guisa la curva generale della spiaggia.

SEDIMENTAZIONE MARINA

Depositi littorali. — I ciottoli, le ghiaie, le sabbie, che non sono dal mare adoperati alla formazione degli apparati littorali, sono da esso depositati alla spiaggia.

A chi osservi, lungo un lido, la disposizione dei materiali detritici, apparirà un fatto che gli sembrerà in contradizione con quello che gli sarà dato di osservare nella disposizione dei materiali in un' acqua corrente. In questa infatti osserverà che, primi a depositarsi, sono i materiali piú grossi, e mano mano segue la deposizione di quelli piú minuti. Ora le onde, come quelle che in certo qual modo

si potrebbero paragonare a correnti provenienti dal mare verso terra, anziché spingere sul lido assai piú innanzi le sabbie, sembrano invece spingervi le ghiaie che sono piú pesanti. Ho detto *sembrano,* poiché in realtà sono le sabbie quelle che sul lido precedon le ghiaie; ma quelle, essendo piú leggere, sono asportate dall' onda che si ritrae, mentre questa non ha forza sufficiente per asportare i ciottoli.

Cosí i ciottoli si accumulano quasi al livello dell' alta marea, ed anche piú in alto, se la costa è soggetta a tempeste violente. L' onda che si ritira trascina adunque con sé i materiali piú fini, ma giunge un momento in cui essa si arresta per tornare novamente ad avanzarsi verso la spiaggia. In quel momento di fermata, i materiali sabbiosi che conteneva cadono al fondo, e cosí si formano le spiaggie che, sabbiose verso mare, sono ghiaiose e ciottolose verso terra.

Il mare esercita in tal guisa una specie di vagliatura dei materiali detritici, disponendoli in certo qual modo in ordine di densità, e formandone degli strati regolari, paralleli alla linea di spiaggia.

Depositi d' acqua profonda. — Le sabbie sottilissime ed i fanghi argillosi o calcarei, che possono giungere al mare anche per mezzo dei fiumi, e che sono ancora rimasti sospesi nelle acque marine in prossimità della spiaggia, vengono a poco a poco trasportati verso l'alto mare, e là cadono lentamente al fondo. È provato che tali depositi non si spingono ad una distanza dalla costa tale da superare la media di 250 chilometri. Solo eccezionalmente possono spingersi oltre; come al Brasile, ove i materiali del fiume delle Amazzoni sono trasportati dalle correnti marine sino a 600 chilometri dalla spiaggia. La prima parte di questi depositi è formata da sabbie; e, se vi sono luoghi ove non si trovano sabbie, ciò dipende certamente dalle correnti marine che le asportano.

Le sabbie sono per solito disposte in strati orizzontali, e vi si trovano conchiglie insieme con resti di altri organismi marini.

Alle sabbie, che si depositano in acque poco profonde, seguono depositi di fango, formati da *fanghi turchini,* da *fanghi* e *sabbie verdastre* e da *fanghi rossastri* nella zona littorale, da *fanghi* e *sabbie coralline* se in vicinanza ad isole o scogliere coralline, da *fanghi* e *sabbie vulcaniche* se in vicinanza di isole vulcaniche.

Vi si trovano sempre frammisti minerali, fra i quali sono principali il quarzo, la mica, il feldspato, l' augite, l' orneblenda.

I fanghi turchini debbono tale colorazione a materie organiche in decomposizione; quelli verdi, che abbondano principalmente nel Pacifico, sono caratterizzati da grande quantità di glauconia (arenaria verde); i rossi, che sono tali per la presenza dell' idrossido di ferro, sono comuni lungo le coste dell' America del Sud.

Depositi pelagici. — Oltre i duecento o trecento chilometri dalla spiaggia cessa ogni deposito littorale. In alto mare si formano due sorta di depositi: l' uno è dovuto all' accumularsi di spoglie di esseri che vivono od in quei fondi marini, od alla superficie, ma principalmente alla superficie; l' altro è un' argilla rossa o grigia sparsa di noduli di ossido di ferro e di manganese. Del primo deposito, di cui la fig. 11 è un saggio, diremo quando ci occuperemo degli agenti biologici. Quanto al secondo, esso sembra costituire un rivestimento del fondo marino, ed associandosi ai resti di radiolari, dà origine ai diaspri. Probabilmente è costituito dai residui della dissoluzione dei minutissimi esseri calcarei, che, dopo morti, cadono con grande lentezza al fondo, permettendo all' acqua marina di esercitare la sua azione dissolvente, la quale, nelle grandi profondità, è agevolata dall'aumentata pressione e dalla maggior quan-

Fig. 11. — Sezione di un fango a *Globigerina* formatosi nelle profondità dell' Atlantico (ingrandita circa dodici volte).

tità di biossido di carbonio che vi si trova sciolto. Non altrimenti si potrebbe spiegare l'assenza completa delle foraminifere, che pure abbondano alla superficie in quelle stesse località in cui la draga ha tirato su dal fondo questa argilla rossa, che in parte è dovuta anche a materiali vulcanici decomposti. In tali depositi abbondano anche denti di squalo, molti dei quali appartengono a specie oggi estinte, casse timpaniche di cetacei, ed anche globuli metallici magnetici di ferro e nichelio, cui alcuni autori attribuiscono origine meteorica. A profondità maggiori di quelle in cui si trova l'argilla rossa, in certe determinate località (regioni tropicali del Pacifico e dell'Oceano Indiano) si forma un fango ricchissimo di Radiolari, e ne diremo a suo tempo.

Azione chimica delle acque del mare. — Con le argille rosse siamo entrati già in un altro campo di azioni dell'oceano, ossia in quello delle sue azioni chimiche.

Sappiamo che nell'acque del mare si trovano sciolti, possiamo dire, tutti i corpi che formano la crosta solida della nostra terra; e, tolti quelli che costituiscono l'ordinaria salinità marina, tutti gli altri vi pervengono o per l'azione solvente che le acque marine esercitano sulle coste, o per la soluzione dei materiali incontrati dalle acque correnti alla superficie delle terre emerse.

Questa attività di soluzione delle acque ha importanza grandissima, poiché per essa si rinnovano nel mare tutti quei sali che sono continuamente consumati dagli animali secretori per la formazione del loro dermatoscheletro.

Ma dal punto di vista puramente fisico-chimico, ove non concorra l'azione degli organismi, interessa di piú lo studio dei depositi che possono formarsi in bracci di mare difficilmente comunicanti con l'oceano, o da questo separati per i lenti movimenti del suolo. Se in questi bacini non giunge acqua in tale quantità da equiparare o superare quella che si elimina per via della evaporazione, la quantità d'acqua in essi racchiusa a poco a poco diminuisce, finché la soluzione diviene satura, ed i sali cominciano a depositarsi.

Nessuna precipitazione di tale natura ha luogo nel mare aperto, ché, per quanto salato, è ben lungi dal raggiungere il grado di saturazione necessario per la precipitazione dei sali. Ma se naturalmente, o artificialmente, in bacini chiusi, si fa evaporare l'acqua del mare, allora il primo sale che si deposita è il gesso (solfato di calcio), poi il carbonato di calcio, cui segue il cloruro di sodio e poi il solfato ed il cloruro di magnesio. Nel Mediterraneo però, nei bacini artificiali lungo le spiagge, primo a precipitare è il carbonato di calcio, perchè le acque di questo mare sono molto cariche di tal sale.

Un bacino ove è caratteristica la formazione di serbatoi salini è il Mar Caspio, e tra questi serbatoi il piú notevole è il golfo di Cara-Bugas[1], che comunica col Mar Caspio per una stretta apertura. In questo ampio golfo, esposto a tutti i venti e agli intensi calori estivi, la evaporazione è grandissima, talché la sua salsedine aumenta continuamente, e molti animali, e tra questi le foche, che prima vi prosperavano, ora non possono piú vivervi.

Lungo il Mar Nero stesso, si hanno bacini naturali in cui si formano grandi depositi di sali.

A fenomeni simili si debbono attribuire i grandi depositi salini che costituiscono immense miniere di salgemma, notando che a successive invasioni dell'oceano si devono le alternate stratificazioni saline e gessose, che si osservano in tali miniere. Son troppo importanti le miniere di salgemma di Stassfurt presso Magdeburgo e di Wieliczka in Galizia, perchè non meritino di essere ricordate. In Italia si trovano depositi di sale in Sicilia, in Calabria a Lungro, nella provincia di Pisa sotto Volterra.

Cadono qui in acconcio due parole sull'origine dei laghi salati. Alcuni, come il lago Elton, il Caspio, l'Aral e loro dipendenti, sono dovuti a depressioni e furono una volta in comunicazione col mare; altri, come il Gran Lago Salato nell'altipiano dell'Utah, l'Urumiah nella Persia, debbono la loro salsedine a depositi salini circostanti ed alla mancanza di emissario, per cui le acque divengono sempre

---

[1] Reclus, *La Terre*, I, 572.

più salse per le acque salate che continuamente vi affluiscono. Si può dire essere proprietà generale dei laghi privi di emissario quella d'essere salati; ed oltre i sopra citati, meritano menzione i laghi salati del deserto di Gobi, della Mongolia, dell'altipiano Iranico, i laghi dell'Affrica settentrionale, altri dell' interno dell'Australia. Particolare importanza ha il lago Asfaltide o Mar Morto (390 metri sotto il livello del Mediterraneo), in cui il Giordano, che passa tra sponde ricche di sale, accumula una grande quantità di sostanze saline.

L' ATMOSFERA

Il calore terrestre e le sue sorgenti. — Due sono le cause che modificano lo stato calorifico della superficie della terra: la radiazione del sole e delle stelle, ed il calore interno della terra stessa; ma l'effetto di quest' ultimo è così piccola cosa, che può benissimo essere trascurato in uno studio della distribuzione del calore alla superficie della terra.

Si calcola la temperatura dello spazio a — 142°; lo zero assoluto, ossia l' assoluta mancanza di calore corrisponde, secondo i fisici, a — 273°, ne viene quindi che la temperatura degli spazi, prodotta dalla radiazione stellare, basterebbe da sola a tenere la terra a 131° sopra lo zero assoluto. Ma la terra ha in realtà una temperatura media di + 10°, ossia di 152° superiore a quella degli spazi. D' onde prende essa tutto questo calore? È facile rispondere: dal sole.

Il calore solare basterebbe a liquefare in un anno uno strato di ghiaccio dello spessore di 31 metri, uniformemente disteso sopra tutta la superficie terrestre. Quale enorme quantità di calore ci invia adunque questa piccola stella! E dico *piccola,* poiché, fra le miriadi di stelle, ve ne sono molte che superano, e di molto, il Sole in grandezza, benché a noi sembrino punti luminosi perché distanti milioni e milioni di chilometri.

Il sole ci dà tanto calore da rappresentare una forza superiore ai 200 trilioni di cavalli vapore, e sviluppa un numero di calorie molto superiore a quante se ne avrebbero bruciando 950 trilioni di chilogrammi di carbone in un minuto.

Però tutto questo calore non giunge direttamente fino al suolo, perché è in parte assorbito dallo strato atmosferico che deve attraversare; e questo assorbimento varia con la diversa purezza dell'atmosfera e con la diversa obliquità dei raggi solari.

Quanto maggiore è l'obliquità dei raggi, tanto piú grosso è lo strato atmosferico che essi attraversano, e quindi tanto maggiore sarà l'assorbimento. Le nubi poi, se interposte fra il sole e noi, assorbono calore in grande quantità; se invece sono in posizione tale da rifletterci i raggi solari, senza intercettare quelli che ci giungono direttamente, aumentano la quantità di calore che giunge al suolo.

Supposta purissima l'atmosfera, l'emisfero illuminato riceve poco piú del 50 % del calore diretto solare; ma siccome tale purezza è fenomeno tutt'altro che costante, ne segue che la cifra sopra accennata scende anche piú in basso. Ciò, ben inteso, sempre in rapporto colle attuali condizioni di costituzione della nostra atmosfera, ché, variando tali condizioni, varierebbe anche l'assorbimento calorifico.

Il riscaldamento della superficie della terra emersa dipende poi anche dai corpi colpiti dai raggi solari. Non tutti i corpi si riscaldano colla medesima rapidità; cosí un terreno ricco di vegetazione si riscalda con molta maggiore lentezza che un terreno arenaceo nudo; poiché una grande quantità di calore è impiegata nelle manifestazioni vitali delle piante.

Ma non si creda che la notevole quantità di calore assorbita dall'atmosfera sia calore perduto, poiché le molecole atmosferiche riscaldate irradiano alla loro volta il calore assorbito ai corpi circostanti; e siccome questa irradiazione aumenta coll'aumentare della densità della' atmosfera, si capisce che sarà maggiore nelle basse località e diminuirà salendo sulle montagne.

Né meno degno di osservazione è il fatto che l'assorbimento atmosferico aumenta col crescere della proporzione del vapore acqueo e dell'anidride carbonica.

Sappiamo che l'aria è una mescolanza di vari corpi, ossia di ossigeno ed azoto nella proporzione volumetrica di 21 e 79 % circa, piú

una piccola quantità di un gas, recentemente scoperto, ossia l'*argon*. Vi si trova poi vapore acqueo in quantità variabile, a seconda delle località e del tempo, anidride carbonica in proporzione varia dai 3 ai 6 decimillesimi, e spesso lievi tracce di ammoniaca, nitrati ed altro. Si aggiunga anche il limo o pulviscolo atmosferico, e l'*ozono*, che in realtà non sarebbe che una modificazione subita dall'ossigeno per effetto delle scariche elettriche. La quantità di ozono è maggiore sul mare che sui continenti.

Il vapore acqueo ha la proprietà di trasformare le radiazioni, sia calorifiche, sia luminose, che lo attraversano, in radiazioni oscure, talché una gran parte delle radiazioni solari trovasi come immagazzinata nell'aria; la quale, durante la notte, riabbandona il calore che durante il giorno si è trasformato per essa in lavoro destinato a dilatarla.

L' atmosfera funge adunque da serbatoio di calore, e serve cosí ad attenuare le differenze di temperatura tra il giorno e la notte, e le differenze climatiche.

A rendere meno sensibili tali differenze concorre anche la diversa capacità calorifera della terra e delle acque.

I raggi calorifici giunti alla superficie della terra emersa la riscaldano; ma il calore non giunge mai a grandi profondità nel suolo, talché il raffreddamento ed il riscaldamento ne sono rapidi.

Ben diversa cosa accade nelle masse acquee. La superficie speculare dell' acqua riflette una gran parte dei raggi calorifici; di piú il potere assorbente delle acque è molto diverso da quello della terra, ed una parte del calore che giunge all' acqua si trasforma in lavoro destinato a produrre l' evaporazione. È logico quindi che il riscaldamento delle acque marine debba essere lento. Ma, come conseguenza di questo lento riscaldamento, il calore solare si trasmette fino a 200 metri di profondità, e perciò anche il raffreddamento di uno strato così grosso di acqua deve essere lento.

Da tutto questo risulta che i mari esercitano una azione regolatrice, conservando lungamente il calore per il loro lentissimo raffreddamento; e ne deriva pure che gli sbalzi

di temperatura dovranno essere minori in prossimità degli oceani che nell'interno dei continenti.

I continenti molto frastagliati, ricchi di mari interni, avranno perciò maggiore uniformità di clima degli altri. Tale condizione di mari molto estesi fra terre frastagliatissime si è verificata in passato sul nostro globo; e quindi, in quell'epoca, ben piccole debbono essere state le differenze di clima.

Altezza dell' atmosfera. — Siccome i fenomeni che direttamente ci interessano, sia rapporto alla Geografia fisica che alla Geologia, si compiono nella porzione di atmosfera che si inalza a poche migliaia di metri sopra l'oceano, soltanto a semplice titolo di curiosità parliamo dell'altezza dell'atmosfera. Per la sua fluidità, in causa della forza centrifuga, lo strato atmosferico deve essere di spessore maggiore all'equatore che ai poli; ma è difficile assegnarne con certezza il limite superiore. I calcoli del Biot, riferentisi alla legge della rarefazione dell'aria man mano che ci solleviamo sulla superficie del suolo, fissano per l'atmosfera una altezza di 48 chilometri; ma le stelle cadenti, corpi che diventano incandescenti attraversando l'atmosfera, giustificano l'opinione di coloro che le attribuiscono uno spessore di 7000 chilometri. Anche le osservazioni fatte sulle luci crepuscolari concorrono a provare che l'altezza dell'atmosfera è molto superiore a quella calcolata dal Biot. La enorme differenza che passa fra questi calcoli dimostra come anche questo sia uno dei tanti quesiti di cui non si conosce la soluzione esatta. Le osservazioni dirette mancano, ed è facile comprenderne il perchè. La maggiore elevazione raggiunta dall'uomo fu di 10000 metri, in ascensione in pallone.

Si suppone anche, da alcuni autori, che l'atmosfera non sia perfettamente omogenea, ma sia formata di due strati, l'uno inferiore, in cui si hanno i movimenti dei venti, l'altro superiore, immobile e costituito, in gran parte, di gas leggeri, e prevalentemente di idrogeno. Ricordiamo ciò a titolo di semplice ipotesi.

Temperatura dell'atmosfera. — Abbiamo già detto che l'aria si riscalda assorbendo una gran parte dei raggi calorifici che provengono dal sole, e per mezzo del calore irradiato dal suolo. Di più l'aria, diventata calda a contatto col suolo, si inalza perchè più leggera, per raffreddarsi poi man mano che sale, perchè si dilata in seguito alla diminuita pressione. Si vede così che l'aria si scalda molto lentamente ed in modo tutt'altro che semplice, restando

sempre il fatto che il maggiore riscaldamento si verifica negli strati inferiori dell'atmosfera, sia perché ivi l'aria è piú densa e l'assorbimento del calore è maggiore, sia perché è riscaldata anche dal calore irradiato dal suolo. Man mano che si sale, l'aria si fa meno calda, e l'HELMHOLTZ ha calcolato che la temperatura diminuisce di 1° ogni 180 metri di elevazione in estate, ed ogni 240 metri in inverno. Questo accade salendo lungo i fianchi di una montagna, ché, nell'aria libera, in una ascensione in pallone, secondo i calcoli del GLAISHER, ad un inalzamento di 100 metri corrisponde circa la diminuzione di 1 grado. Avvertiamo però che tale abbassamento di temperatura è ora maggiore ora minore, a seconda che le osservazioni sono state fatte d'estate o d'inverno, di giorno o di notte, a cielo sereno o no.

Usando diverse precauzioni, quali ci sono insegnate dai libri di Meteorologia, e facendo uso dei termometri a massima ed a minima, avremo il mezzo di determinare la temperatura media dell'aria.

Se teniamo conto della temperatura segnata dal termometro in ogni ora di un giorno, facendo la somma di queste temperature e dividendo per 24, avremo la media temperatura giornaliera. Dalla media delle temperature medie giornaliere si avrà la media temperatura di un mese, e dalla media delle medie dei 365 giorni quella dell'anno. Questa non sarà per altro *la media temperatura del luogo*, la quale si ottiene solo facendo la media, per un gran numero di anni, della temperatura media annuale.

La temperatura *massima* giornaliera si ha verso le 14 d'inverno e verso le 15 d'estate, e la minima poco prima del sorgere del Sole. L'ora della *massima* varia anche un poco dal lido del mare all'interno dei continenti.

Se non vi fosse l'irradiazione terrestre, al mezzogiorno (ora in cui i raggi del sole cadono meno obliquamente, distribuendosi sopra superficie piú piccola e riflettendosi in proporzione minore) l'aria dovrebbe avere la temperatura massima; ma il calore stesso, che è

stato assorbito dalla terra, viene rimandato all'atmosfera per irradiamento; talché la terra riceve calore dal sole e ne cede contemporaneamente agli strati più bassi dell'aria. Ne viene che la temperatura dell'aria aumenterà finché la terra riceva più calore di quello che irradia; giunto il momento in cui l'assorbimento eguaglia l'irradiazione, si avrà il massimo giornaliero di temperatnra. Tale stato di equilibrio si verifica appunto dalle ore 14 alle 15.

Quanto alle variazioni annue, che dipendono dal movimento di rivoluzione della terra attorno al sole, il massimo della temperatura, per le nostre regioni, non si ha, come si potrebbe credere, al Solstizio d'estate, ma nel luglio; così il minimo non si ha al Solstizio d'inverno, ma verso la metà di gennaio. Le variazioni annue di temperatura sono soggette a questi principî generali:

1.° paragonando tra loro luoghi di latitudini differenti, le temperature medie di essi diminuiscono col crescere della latitudine.

2.° La temperatura media annuale è in rapporto coll'altitudine del luogo, ed in generale, alla stessa latitudine, essa diminuisce col crescere dell'altitudine.

3.° La temperatura media è in intimo rapporto colla posizione dei luoghi, colla variazione dei venti, coll'ineguale ripartizione delle terre e dei mari, colle correnti marine, colla natura del suolo e del soprassuolo.

La figura 12 indica quali sono i luoghi di uguale variazione annua di temperatura.

Linee isotermiche. — Se per mezzo di linee curve si riuniscono tutti i punti del globo che posseggono la stessa media temperatura annuale, ridotta al livello del mare, si avranno le carte delle *isoterme* (da ἴσος - uguale e θέρμα - calore) (fig. 13). Sembrerebbe che tutti i punti che si trovano alla stessa latitudine dovessero avere la medesima temperatura, e che le linee isoterme dovessero in conseguenza seguire scrupolosamente l'andamento dei paralleli. Ciò sarebbe logico, se a turbare una tale rego-

lare distribuzione del calore non intervenissero, come dicevamo poco sopra, le correnti aeree e le marine, le catene montuose, la presenza di grandi foreste o di grandi deserti; talchè le isoterme presentano spesso sinuosità e curve, che hanno la loro ragione nei fatti accennati; e quindi, lungo uno stesso parallelo, si possono trovare temperature medie diversissime.

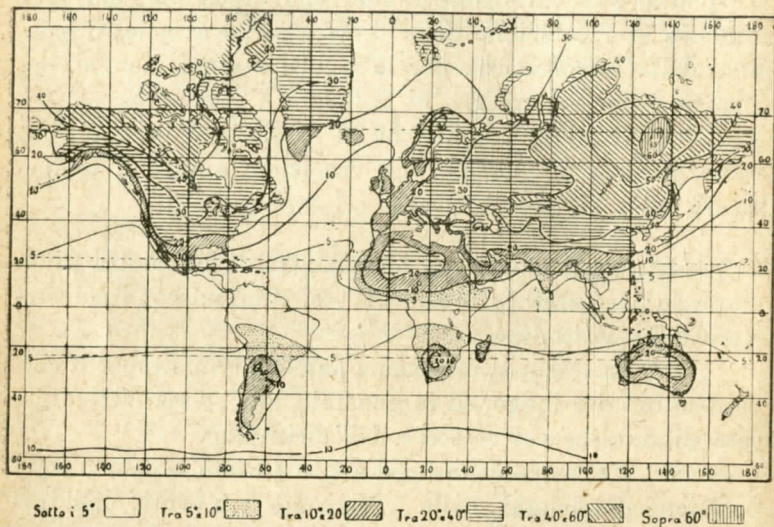



Fig. 12. — Cartina delle uguali variazioni annue di temperatura (dal Supan).

In generale le linee isoterme nel nostro emisfero si incurvano notevolmente, presentando sinuosità ripetute, mentre nell'emisfero australe l'andamento ne è molto piú regolare. Questo è in rapporto colla estensione maggiore dell'oceano riguardo alle terre in questo secondo emisfero, talché la distribuzione della temperatura vi presenta una maggiore uniformità che nell'emisfero boreale, essendo che, come abbiamo già avvertito, le superfici acquee non hanno variazioni cosí forti e cosí rapide come si verificano sulla superficie asciutta.

Le curve isoterme, comprese fra l'equatore e la latitudine Nord di 40°, si inalzano verso il polo sui continenti,

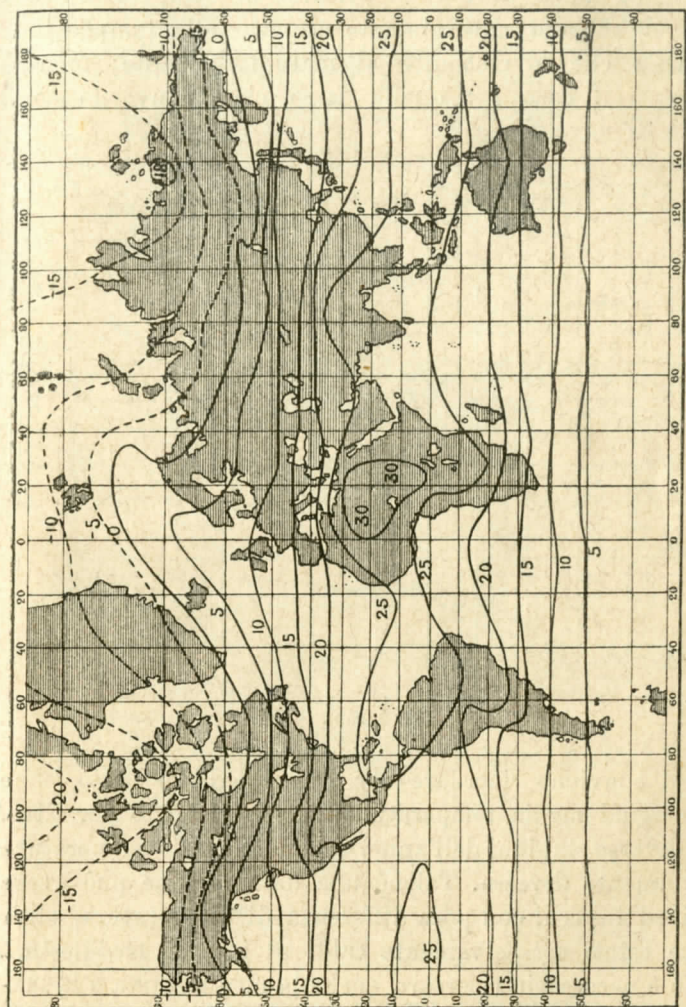



Fig. 13. — Cartina delle isoterme annuali.
Le linee tratteggiate corrispondono alla temperatura sotto zero (secondo Dove, Buchan e Wild).

mentre si abbassano sull' oceano verso l' equatore; e le curve che sorpassano il 40° di lat. boreale fanno precisa-

mente il contrario. La fig. 14, ove sono segnate solo 4 isoterme, serve a dimostrare, in un colla seguente fig. 15, l'andamento irregolare di tali linee. Quando la terra si ricopre di neve durante l'inverno la temperatura dell'aria si abbassa notevolmente rispetto alla temperatura di quella che sovrincombe al mare circostante; mentre è diverso il caso per quelle terre che d'inverno sono spoglie di neve.

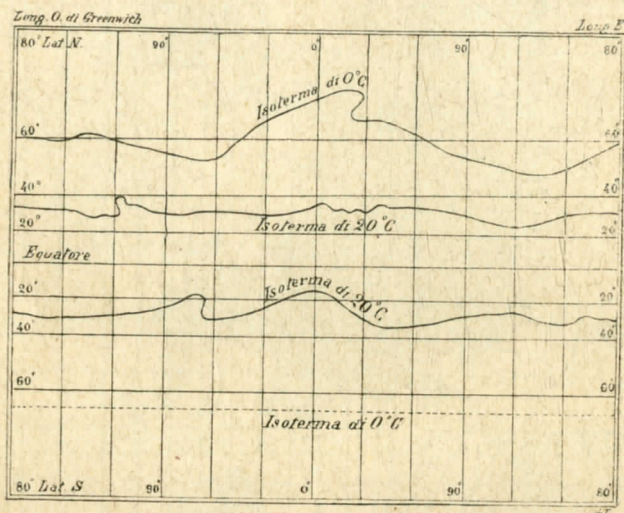



Fig. 14. — Figura schematica per indicare l'andamento di alcune isoterme (dal Supan).

Qui conviene ricordare che due luoghi possono bene avere ugual media temperatura annua, godendo per altro, nelle diverse stagioni dell'anno, di condizioni di temperatura notevolmente diversa. Talché una data regione può avere estati ed inverni con poca differenza di temperatura, altra invece estati eccessivamente caldi ed inverni freddissimi. Perciò è necessario ricercare anche la media estiva e la media invernale per ciascun luogo, d'onde le linee *isotere,* di ugual temperatura media estiva (fig. 15), e le *isochimene*, di ugual temperatura media invernale (fig. 16); le prime si inalzano, nel nostro emisfero, verso nord sulla terra emersa e si

abbassano verso sud sul mare, le seconde si comportano in modo diverso pel diverso riscaldamento della terra e del mare.

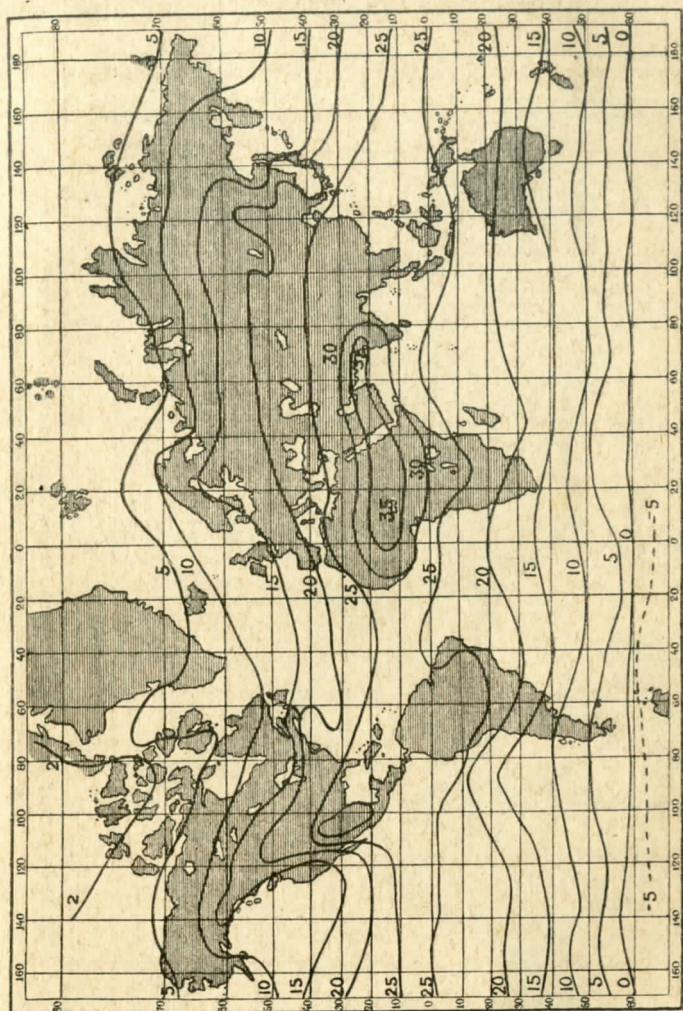



Fig. 15. — Carta delle isoterme estive od isotere (secondo Dove, Buchan e Wild).

La linea che unisce i punti che hanno la massima temperatura media annuale dicesi *equatore termico*. Esso non coincide coll'equatore terrestre, ma lo taglia in due punti: l'uno all'est di Sumatra, l'altro nel Pacifico sotto il meridiano dell'isola di Tahiti, dopo avere corso per 255° di longit. nell'emisfero boreale.

Dall' equatore la temperatura diminuisce verso i poli, ma la piú bassa temperatura non si ha ai poli geografici, bensí, pel nostro emisfero, si troverebbe in due punti che

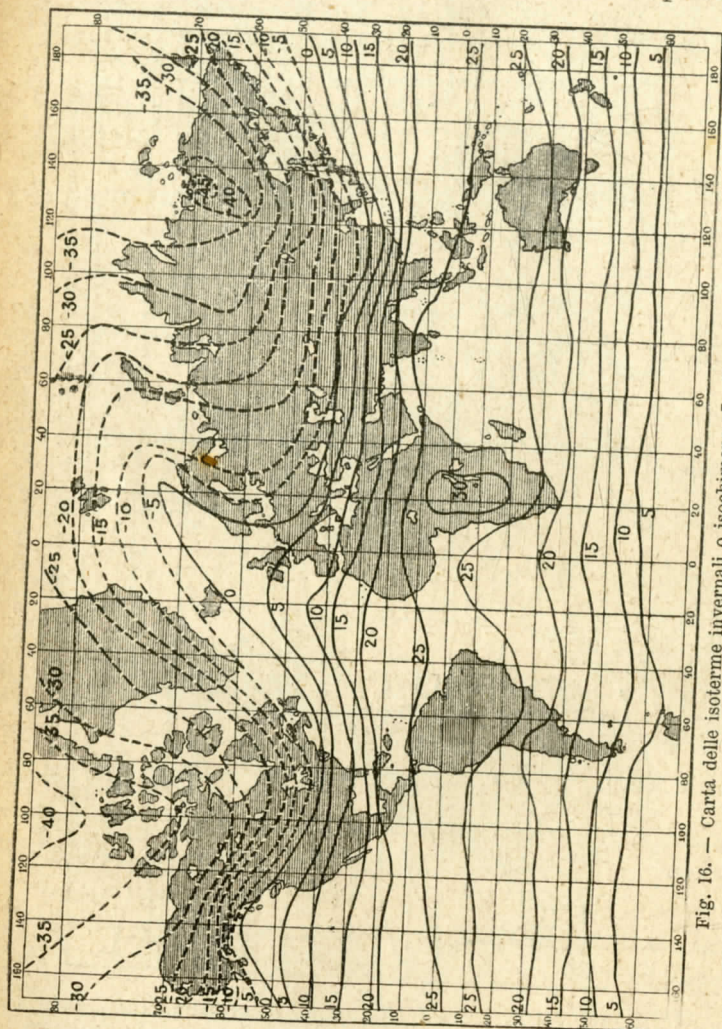



Fig. 16. — Carta delle isoterme invernali o isochimene. *Le linee a tratteggi indicano le medie sotto zero.* (secondo Dove, Buchan e Wild).

distano dal polo e che si dicono *poli del freddo.* Uno è nell' Asia al nord di Iacutsk ed ha una temperatura media di — 17°, 2, l' altro è vicino all' arcipelago della Nuova

Siberia ed ha una temperatura media di — 19°, 7. Il polo nord non è dunque il punto piú freddo della superficie della terra; ed è ciò che ha suggerito l'idea dell'esistenza di un ipotetico mare libero al polo stesso, idea che ha prevalso fino a quando l'ardito viaggiatore norvegese NANSEN l'ha dimostrata completamente falsa, spingendosi pel primo alla latitud. di 86°. 14', oltre la quale non poté spingersi per la impossibilità di avanzarsi sul ghiaccio che si accumulava in grossissimi pezzi a lui dinanzi, fino a perdita d'occhio. Secondo il MAURY anche nell'emisfero australe si avrebbero due poli di freddo.

Pressione atmosferica. — La temperatura dell'aria e la sua pressione servono a spiegarci i movimenti dell'atmosfera. Noi sappiamo che la densità dell'aria diminuisce coll'altitudine, e varia anche da luogo a luogo e da tempo a tempo; sappiamo anche che l'aria *pesa* sulla terra, vi esercita cioè una pressione che è detta *pressione atmosferica*, la quale si determina col barometro.

I calcoli e le osservazioni fatte dimostrano che all'equatore si ha una media pressione di 758 mm., ai tropici una media di 763 mm., ai poli una media di 756 mm.; dunque due minimi, al polo ed all'equatore, ed un massimo a ciascun tropico. Anche il barometro è soggetto a variazioni diurne, alcune delle quali *regolari* sono dette *variazioni orarie*, altre *irregolari* sono dette variazioni *accidentali.* Lo studio di queste seconde è di particolare importanza per i marinari, poiché esse accompagnano sempre le tempeste.

Riunendo con linee tutti i punti che hanno una egual media barometrica annuale o mensile, ridotta al livello del mare, si hanno le linee *isobare;* se poi si uniscono tutti i punti che hanno ugual pressione in un dato istante, si hanno le *isobare sincrone.* Dalle isobare si rileva che le variazioni barometriche dall'equatore verso i poli non sono regolari; esse linee spesso si ripiegano su se stesse, racchiudendo aree di *massima* o di *minima* pressione (Vedansi le cartine delle isobare, fig. 17 e 18).

Dalla considerazione delle isobare sincrone si può appunto ricavare il presagio del tempo. All'intorno di un'area di minima pressione in un dato istante si forma un'area, che spesso cambia di posto, detta

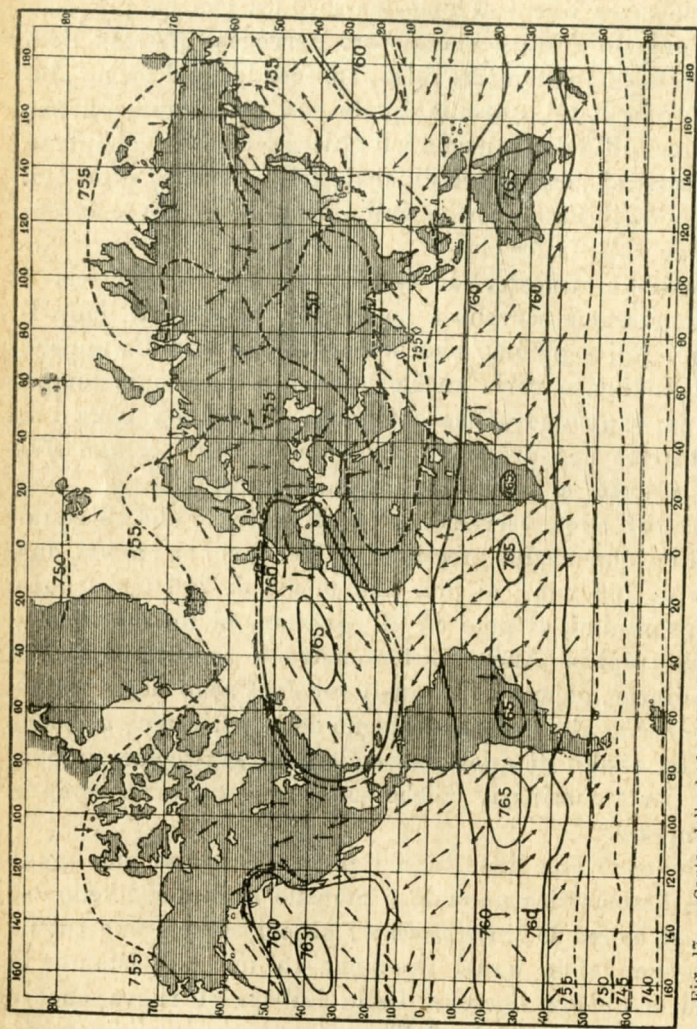



Fig. 17. — Carta delle isobare estive, e loro rapporto coi venti. — *Le freccie indicano la direzione dei venti. Le linee tratteggiate indicano le pressioni inferiori a 760mm.* — (secondo Dove, Buchan e Wild).

area di depressione barometrica. A queste depressioni devonsi, come vedremo, la tempeste, i cambiamenti del vento, le rapide variazioni del tempo.

Le osservazioni fatte stabiliscono che nell'emisfero boreale l'atmosfera ha maggiore pressione che non ne abbia nell' emisfero australe, e ciò, secondo Herschel, dipende-

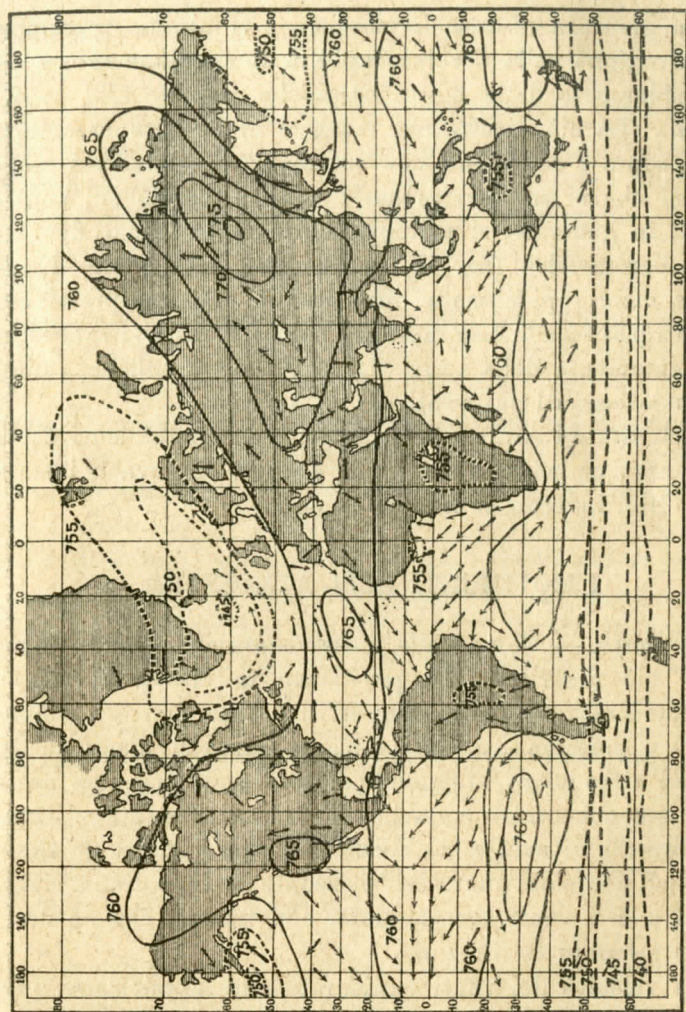



Fig. 18. — Carta delle isobare invernali, e loro rapporto coi venti.
Le freccie indicano la direzione dei venti. (Dal Dove, Buchan e Wild).

rebbe dal fatto che nell'emisfero australe, ove l' oceano è più esteso e più libero, non si oppongono ostacoli al libero muoversi delle correnti aeree, mentre, nell' emisfero

boreale, esse trovano ostacolo nei continenti e nelle catene montuose; quindi l'aria vi si accumula come in onde, aumentandosi così lo spessore dell'atmosfera e naturalmente anche la pressione.

La presenza di aree di massima e di minima pressione trova ragione nella diversa rapidità di riscaldamento e di raffreddamento delle masse oceaniche rispetto alle continentali. Da ciò risulta che l'aria è nell'estate assai più calda sopra i continenti che sul mare, specialmente nelle regioni che si trovano presso i tropici, perciò sui continenti, in generale, si sviluppano in estate aree di depressione barometrica (fig. 17); e l'oceano, che invece si riscalda meno rapidamente, offre aree di massima pressione. Il contrario accade nell'inverno, perchè il mare si raffredda più lentamente della terra (fig. 18). Quanta influenza questo fatto eserciti sui venti ora lo vedremo.

Nell'estate i minimi barometrici continentali sono tutti nel nostro emisfero, mentre nell'australe si trovano i massimi. Nell'inverno si inverte la cosa.

I MOVIMENTI DELL'ATMOSFERA

Il vento. — Come nelle masse oceaniche, per le varie cause già descritte, che provocano un disequilibrio, si originano correnti, così, per effetto della diversa temperatura e pressione, anche le masse aeree si muovono da uno ad altro luogo, sfuggendo dalle aree di massima pressione per concorrere a quelle di pressione minima. Queste correnti di aria sono i *venti*, e se ne indica la direzione col nome del punto dell'orizzonte da cui spirano. Nella fig. 17 e 18 i venti sono indicati con freccie, che ne designano appunto la direzione.

La velocità dei venti è misurata cogli *anemometri*, e in generale i venti si classificano sulla seguente scala:

Calma	velocità	da	0	metri	a	1	metri	al secondo
Quasi calma	»	»	1	»		2	»	»
Debolissimo	»	»	2	»		4	»	»

Debole o fresco[1] . .	velocità	da	4	metri a	6	metri	al secondo
Moderato	»	»	6	»	8	»	»
Assai forte	»	»	8	»	10	»	»
Forte	»	»	10	»	12	»	»
Fortissimo	»	»	12	»	14	»	»
Colpo di vento	»	»	14	»	16	»	»
Uragano e tempesta	»	»	16	»	oltre i 30		»

A seconda delle regioni per cui passano, i venti possono assumere proprietà particolari, essere così *asciutti* od *umidi*, *freddi* o *caldi*. Così, per noi, lo *scirocco* è caldo ed umido, freddo ed asciutto il vento di *tramontana*. I venti dei deserti dell'Arabia, della Persia e dell'Affrica sono secchi, violenti e caldissimi. È tale il *samum* o *simum* (vento velenoso). Nel Sahara spira un vento detto *harmattan*, che giunge alla temperatura di $+50^{\circ}$, ed è così violento che solleva colonne di sabbia tanto dense da oscurare il sole. Esso dissecca tutto ciò che incontra nel suo passaggio.

A primo aspetto parrebbe che la intensità e la direzione dei movimenti d'aria dovessero essere variabilissime. Ma, fatta eccezione pei tumultuosi movimenti degli uragani, si può dire che il principio di trasporto delle masse aeree è semplicissimo. La causa fondamentale è la ineguale distribuzione del calore, per cui, originandosi differenze di densità e di pressione, si formano i venti per ristabilire l'equilibrio.

Di questo principio si vollero generalizzare le conseguenze, e si disse che all'equatore le masse d'aria, grandemente riscaldate, si elevano per precipitarsi quindi verso le regioni polari, dalle quali accorrono masse d'aria fredda all'equatore per riempire il vuoto lasciato dalle prime. Non si tratta però di una massa di aria che si inalza; si tratta di aria che, riscaldata molto, si dilata e genera una depressione barometrica, per cui dalle regioni tropicali l'aria affluisce a compensare tale depressione.

La legge generale che regola la direzione dei venti fu enunciata così dal Buys-Ballot:

---

[1] Il *fresco* dei venti (parola di grande uso) non allude alla loro temperatura, bensì alla velocità o intensità dei medesimi.

« Il vento soffia sempre dalle regioni di piú alta pres-
« sione verso quelle di pressione inferiore. Intorno ad un'area
« di massima pressione le direzioni dei venti sono diver-
« genti; se l'area è di minima pressione, le direzioni dei
« venti sono convergenti. Il vento non soffia direttamente
« verso il punto di minima pressione, ma, in forza del movi-
« mento di rotazione della terra, esso devia verso destra nel-
« l'emisfero boreale, e verso sinistra nell'emisfero australe ».

Per spiegare quest'ultima parte della legge dei venti, occorre considerare che la velocità di rotazione dei varii punti della superficie della terra, e quindi anche dell'aria che loro sovrincombe, aumenta dai poli, ove è nulla, all'equatore, ove è massima. Talché una massa d'aria, che si muova, lungo un meridiano, verso l'equatore, sarà animata da una componente verso oriente, che va crescendo d'intensità quanto piú l'aria scende verso l'equatore. La risultante di queste due velocità, quella del vento cioè e quella del movimento rotatorio della terra, farà sí che il vento che spira da nord o da sud pieghi a destra nel nostro emisfero, a sinistra invece nell'altro, talché il vento di nord si fa di N-E, e quello di sud di S-W nell'emisfero boreale.

È raro che un vento, anche se impetuosissimo, incominci subito con notevole intensità; esso gradatamente si fa violento, e di tanto in tanto sembra calmarsi per riprendere poi con maggior forza; tali riprese si distinguono col nome di *folate* se non sono violentissime, *raffiche* invece se violente.

Occorre stabilire anche un altro principio, che risulta da numerose osservazioni ed esperienze, il principio delle *correnti opposte*, che può enunciarsi cosí: « Se in due
« vicine regioni si hanno due aree di diverso riscaldamento,
« si svilupperà negli strati superiori dell'aria un vento
« che va dall'area piú calda alla piú fredda, e negli strati
« inferiori si avrà un vento in senso contrario ».

Venti alisei e contro-alisei. Affinché il principio generale della circolazione dall'equatore ai poli e viceversa si verificasse, bisognerebbe che la terra fosse perfettamente sferoidale, e non ne interrompessero la regolarità i continenti e le montagne. Dunque soltanto nelle regioni ocea-

niche tale principio si applica più chiaramente. E ne sono caratteristica prova i venti *alisei* o *delle dame* o *dei mercanti*.

Si tratta di venti che dai poli vengono all' equatore; ma anziché spirare da nord a sud nel nostro emisfero e da sud a nord nell'emisfero australe, obbedendo alla legge sopra citata, deviano e divengono venti di N-E nel nostro emisfero e di S-E nell' altro. La velocità media degli alisei di N-E si calcola a m. 6,1 al secondo, e quella degli alisei di S-E a m. 11,11 al secondo.

La zona su cui si estendono gli alisei di S-E è più larga di quella degli alisei di N-E, perché nella zona degli alisei di S-E predomina l' oceano. Gli alisei, venendo da regioni più fredde verso l' equatore, e raggiungendo regioni calde, non sono relativamente alla temperatura più elevata, saturi di vapore acqueo, e quindi permettono l'evaporazione dell'acqua del mare, anzi la agevolano, e si caricano di vapore acqueo. Raggiungono allora la saturazione, ed i vapori si condensano, bastando a ciò la causa più lieve, e precipitano in abbondantissime pioggie.

Agli alisei si contrappongono, nelle alte regioni dell' atmosfera, i *contro-alisei*, che spirano dall' equatore ai poli, e, per la medesima ragione della rotazione terrestre, sono venti di S-W e di N-W.

L' esistenza dei contro-alisei ci è dimostrata: dalle *nubi alisee*, che si muovono a grande altezza nella regione degli alisei, ed in direzione a questi contraria ; dal vento di S-W che avvolge la vetta del picco di Teneriffa (3000 m.) mentre la sua base, d' estate, è nel dominio dell' aliseo di N-E. Questo stesso fatto accade pel vulcano Mauna-Loa nell' isole Sandwich (4194 m.). Anche le ceneri vulcaniche lanciate nelle alte regioni dell' atmosfera e trasportate a grandi distanze dalla località ove esiste il vulcano che le eruttò, nella direzione assegnata ai contro-alisei, ce ne attestano la esistenza; e, per ultimo, ce lo prova anche il fumo del colossale vulcano Cotopaxi (5600 m.), che ad un altezza di 6500 m. piega in direzione del contro-aliseo di N-W.

I contro-alisei, giunti ai tropici, in seguito al raffreddamento che subiscono, si abbassano, e si dirigono bassi al polo col nome di *extra-tropicali*.

Nelle regioni equatoriali, là dove è minima l'azione della corrente orizzontale, si ha la zona delle *calme equatoriali*.

Essa è compresa fra gli alisei di N-E e quelli di S-E, e l'aria vi è più in equilibrio che nelle altre parti della superficie terrestre; però questa zona non ha una posizione fissa, ma oscilla col variare della declinazione del sole in un con le zone degli alisei.

Altre zone di calme, le *tropicali*, sono là ove i controalisei si abbassano, ed incontrandosi la corrente relativamente calda di essi coi freddi venti polari, si originano ivi, per la condensazione dei vapori, piogge abbondanti. In ultimo si hanno anche le zone delle *calme polari* (fig. 19).

È bene avvertire che la teoria qui riportata è quella del Maury; ma essa non si verifica che per gli alisei e controalisei e sull'oceano, perché, sui continenti, le accidentalità del terreno e le altre circostanze che producono i venti periodici túrbano la regolarità della circolazione, ammessa dalla teoria.

Monsoni. — Se in tutta la regione equatoriale della terra si estendesse il mare, i venti alisei non sarebbero in alcun modo disturbati, e le loro oscillazioni si succederebbero con grande regolarità; ma le masse continentali che occupano in parte quella zona non permettono tale regolarità. I continenti si riscaldano e si raffreddano con maggiore rapidità delle masse oceaniche, ed in ciò la causa di venti che variano col variare delle stagioni. Questi venti di stagione sono i *monsoni*; ed un tipico esempio ce ne è offerto da quelli dell' Oceano Indiano. Ivi, d' inverno, i monsoni sono venti di N-E, d' estate invece sono venti S-W, tra l' Affrica e l' Indostan; tutto al contrario invece tra Sumatra e le Nuove Ebridi. La ragione di ciò risiede nel grande riscaldamento estivo e rapido raffreddamento invernale dell' Indostan e dei deserti dell'Asia Centrale per i primi, e nel grande riscaldamento dell' Australia e suo successivo raffreddamento per i secondi. Al momento del cambiamento di regime, ossia agli equinozi, si hanno in quei mari violentissime tempeste.

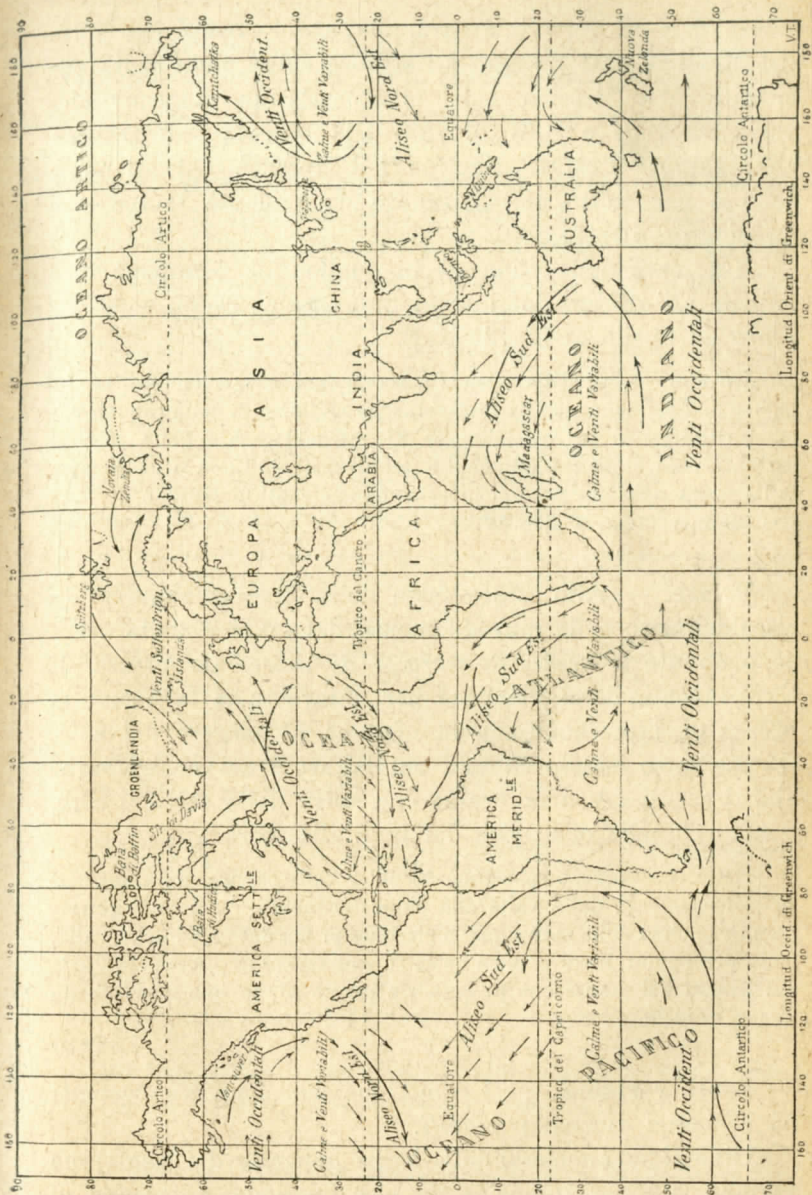



Fig. 19. — Carta dimostrante i rapporti tra i venti e le correnti marine.

Le freccie piccole indicano la direzione delle correnti; le freccie grandi indicano la direzione dei venti.

Altri monsoni sono quelli della Guinea, che spirano in estate da S-W verso il Sahara, altri ancora quelli del Golfo del Messico. Dal maggio all'ottobre spira sulle coste occidentali del Messico e del Guatemala un monsone che varia fra S-E e S-W, dovuto alla elevata temperatura che, durante l'estate, domina nel Messico. Questo monsone è per solito accompagnato da violente tempeste e da pioggie dirotte.

Nel mare della Cina ed in quello del Giappone dall'aprile all'ottobre domina un monsone di S-W, e da ottobre ad aprile quello di N-E.

Gli *etesii* del Mediterraneo si possono anch'essi considerare come monsoni. Essi sono dovuti al diverso riscaldamento delle regioni circummediterranee, e specialmente al raffreddamento delle regioni settentrionali e al riscaldamento dei deserti di Libia e di Sahara. Sulla costa egiziana per sei mesi si hanno venti di N-W e di N. e per sei mesi di S. e di S-W.

Brezze. — Allo stesso fatto della diversa rapidità di riscaldamento e di raffreddamento del mare e della terra sono dovute le *brezze di terra* e *di mare.* La brezza di terra incomincia al tramonto per durare tutta la notte; la brezza di mare comincia la mattina al sorgere del sole. Questo fatto istesso si nota sui laghi; e nei nostri laghi alpini dicesi *breva* la brezza che spira dalla terra al lago, e *tivano* quella che spira dal lago alla terra.

Nelle montagne, e specialmente nelle valli strette, si ha una corrente ascendente dalla valle alla cima del monte, durante il giorno, perché la cima delle montagne si riscalda prima del fondo della valle; nelle ore pomeridiane e nella notte l'irradiazione fa piú fredda l'aria sui fianchi del monte che al piano, e perciò si ha una corrente da monte a valle.

Venti variabili. — I venti che non sono né costanti né periodici diconsi *variabili.*

Dipendono anch'essi dalla legge generale dei venti; ma variano, sia per intensità sia per direzione, a seconda di diverse circostanze. Quello che in generale può dirsi è che

questi venti, sono dovuti ad una depressione barometrica, di estensione maggiore o minore, attorno alla quale girano o secondo il movimento delle lancette dell' orologio, od in senso inverso a questo movimento.

Cicloni. — A chiudere l'argomento dei venti è necessario dire qualche parola su quei movimenti violenti che turbano temporaneamente il sistema della circolazione atmosferica. Intendo parlare dei *cicloni, tempeste, tifoni, uragani,* nomi tutti che, come ben dice lo Stoppani, esprimono quasi lo stesso fenomeno.

Non si tratta in realtà che di impetuosissimi venti per cui l'aria si mette in moto di rotazione nel tempo stesso che è animata da rapidissimo moto di traslazione. Nel nostro emisfero la rotazione ha luogo da est ad ovest passando per nord, nell'australe da est ad ovest passando per sud. Un ciclone ha una velocità di rotazione persino di 250 chilometri all'ora, ed un moto di traslazione la cui velocità varia da 15 a 45 km. all'ora. Si può bene comprendere quanto sia potente l'azione di tanta violentissima massa d'aria; infatti lo Stoppani ricorda una tempesta che, infuriando sulle coste dell' India, spinse le onde entro terra, elevandole all'altezza di 4 a 5 metri, con la morte di 10000 persone. A 14 miglia dalla costa, entro terra, si raccolsero i resti di un bastimento.

Nel Luglio del 1825, durante un ciclone alla Guadalupa, una tavola grossa due centimetri, spinta dal vento, traversò il tronco di una palma; ed a Calcutta un tronco di bambú forò un muro di 1 metro e ½ di spessore. I disastri prodotti dai cicloni sono incalcolabili. Talvolta tempeste a tipo rotatorio colpiscono anche l'Italia. Ricordo il piccolo ciclone di Orio nelle Puglie, imperversato nel 1897, il quale distrusse una grande quantità di abitazioni e uccise varie persone.

Quando al ciclone, sulle coste, si unisce la violenza del mare colla rigatta, i disastri sono ancora più tremendi.

Le isole dell' Oceano Indiano e le Antille sono le regioni più colpite da tali disastrosissimi fenomeni. Si noti anche che i cicloni dell'Atlantico settentrionale seguono la

corrente del Golfo (fig. 20). La cosa si spiega facilmente. La corrente del Golfo è corrente calda, di temperatura piú elevata di quella delle regioni circostanti; e siccome d'inverno appunto il disequilibrio di temperatura è ivi mag-

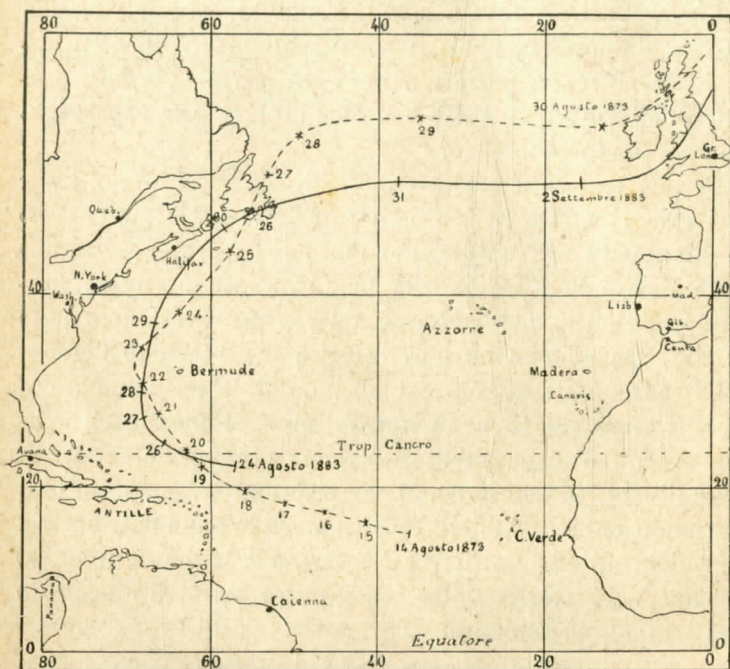



Fig. 20. — Tragitto di due cicloni nell' Oceano Atlantico.
I numeri indicano la data dell' arrivo dei cicloni nelle varie località.

giore, sarà anche d'inverno che si formeranno nell'Atlantico settentrionale i piú violenti uragani.

Le regole generali degli uragani e dei cicloni sono le seguenti:

1.° Nell'emisfero boreale i cicloni hanno rotazione *negativa*, ossia opposta al movimento delle lancette dell' orologio, *positiva* invece nell'emisfero australe.

2.° Al centro di un ciclone si ha un minimo barometrico.

3.° Il centro si muove con velocità da 10 a 60 chilometri all' ora, descrivendo una specie di parabola col vertice a nord.

4.° Il ciclone si allarga e indebolisce quanto piú si allontana dall' equatore.

5.° Per chi rivolga la faccia verso il centro di depressione barometrica, il vento spirerà sempre, nell' emisfero boreale, da sinistra a destra.

6.° L' intensità del vento cresce col crescere del *gradiente* (differenza di pressione tra luogo e luogo).

Si suole riservare il nome di *turbine* ad un movimento vorticoso dell' aria, limitato ad una zona poco estesa. Solo quando tale movimento si diffonde su vasta estensione, si chiama, come sopra si è detto, *ciclone, tornados, tifone, uragano,* ed in genere *tempesta a tipo rotatorio* (*ciclone* nell' Oceano Indiano, *tornados* od *uragano* nelle Antille, *tifone* nel mar della China).

AZIONE DINAMICA DELL' ATMOSFERA

Azione degradatrice dell' atmosfera. — È una nozione affatto comune che gli oggetti esposti lungamente all'aria libera, a poco a poco si logorano e si distruggono. Ne sieno esempi i monumenti piú o meno antichi, le rocce decomposte e profondamente alterate alla superficie, i metalli ossidati. Quale è l' agente che produce tale effetto? L' aria certamente! — Ma forse l' aria da sola, vale a dire col solo ossigeno e l' azoto? No senza dubbio! Fra i vari corpi che formano la atmosfera terrestre, l' agente principale di degradazione meteorica è il *vapore acqueo,* che, unitamente all' ossigeno ed all' anidride carbonica, modifica profondamente la superficie delle rocce, nel modo istesso che, al disotto della superficie, l' acqua, introducendovisi come acqua filtrante, le altera e le modifica internamente.

La mineralogia ci insegna che una grandissima quantità delle rocce che costituiscono la scorza terrestre accoglie tra i minerali essenziali il *feldspato.* Or bene, sotto l'azione della umidità atmosferica e dell' anidride carbonica, il feldspato si *caolinizza*, ossia si trasforma in caolino e le rocce feldspatiche si disgregano, lasciando cosí liberi gli altri minerali che le costituiscono. Per opera dell'ossi-

geno i metalli si ossidano, i solfuri divengono solfati. Il carbonio dell'anidride carbonica, assimilato dalle piante ed immagazzinato nei tronchi dei vegetali, dà origine, in grandissima parte, agli ingenti depositi di carbon fossile.

La struttura delle rocce stesse influisce notevolmente sulla loro decomposizione, poiché si comprende che quanto piú la roccia si lascerà infiltrare dalle acque, tanto piú facile ne sarà la disgregazione. Sono le rocce granulose che piú facilmente si prestano alla infiltrazione acquea, e cosí anche quelle che facilmente si sfaldano; per questo appunto l'arenaria ed il granito (fig. 21) si disgregano assai rapidamente. Cosí per effetto della degradazione meteorica si logorano a poco a poco le vette dei monti, i quali, se costituiti da calcari, tendono ad acquistare quella forma tondeggiante, caratteristica dei nostri Appennini; mentre si conformano a punte, a guglie, a denti, come le Alpi, se formati prevalentemente da rocce di natura cristallina.

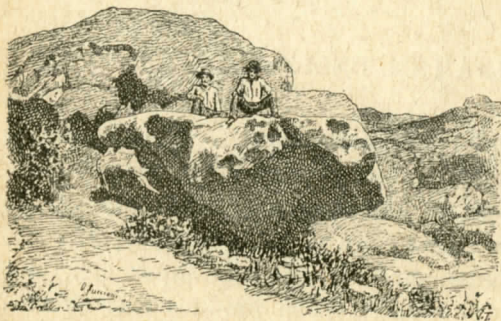



Fig. 21. — Roccia detta il Fungo, nell'isola di Caprera; esempio di corrosione prodotta dalle intemperie sul granito.

Se poi, o per effetto del disseccamento, o per bruschi cangiamenti di temperatura, le rocce si screpolano, aumenta con tali screpolature la superficie esposta alla azione dell'aria; cosicché, qualora penetri in quelle fessure l'acqua e, per sopravvenire del freddo, questa si riduca in ghiaccio, l'aumento del volume dovuto alla congelazione concorre ad aumentare le fratture, e la roccia cade in frantumi quando il ghiaccio si squaglia. A particolari condizioni meteoriche sono dovuti i deserti. L'aria che passa sovra ad essi è cosí povera di vapore acqueo, che la precipitazione

vi è nulla o minima. Infatti il deserto di Gobi è tale perchè l'aria abbandona tutta l'umidità sulle montagne che lo circondano; lo stesso vale pel deserto di Atakama nell'America del Sud e per l'interno dell'Australia. Parimente i venti che vanno dal Mediterraneo al Sahara sono poco carichi di vapore acqueo, e quindi non ve lo precipitano.

Trasporto di polveri. — Un vento che abbia la velocità di 28 metri al secondo, è capace di esercitare, sopra ogni metro quadrato di superficie, una pressione equivalente a 95 chilogrammi. Da ciò deriva una stragrande potenza meccanica del vento, per cui è facile intendere per quale ragione i venti possano trasportare ben lontane le polveri e le sabbie; e ciò si comprende anche più, quando si pensi che, negli uragani, con una velocità di 45 metri al secondo, si raggiunge una pressione di 400 chilogrammi al metro quadrato.

Uno dei più antichi fenomeni che la storia ricordi è quello delle *pioggie di sangue,* che furono in ogni tempo argomento di superstiziose credenze. Tali pioggie cadono frequenti nel nord dell'Affrica, nel sud dell'Europa e nelle corrispondenti latitudini asiatiche, e sono sempre accompagnate da procelle, come a Lione nel 1846, al lago Maggiore nel 1855. Comuni sono a Malta ed in Sicilia, ove, anziché essere portate dalla procella, sono portate dai caldi scirocchi. In queste polveri, EHRENBERG ha trovato circa il 13 % di organismi; ed è notevole che le specie, sia vegetali sia animali, trovate in queste polveri, sono in parte marine, in parte dell'America meridionale, in parte europee, e mancano sempre le specie affricane.

Altri splendidi fenomeni di trasporti meteorici li abbiamo nelle sabbie del Sahara cadute in Italia, nelle ceneri del Vesuvio, che nel 472 furono trasportate a Costantinopoli, nelle ceneri di un vulcano dell'Islanda che nel 1875 caddero a Stocolma, nelle ceneri del vulcano Krakatoa nell'Isole della Sonda che, nel 1883, rimanendo a lungo sospese nell'aria, diedero origine a quei singolari crepuscoli, che tanto destarono la meraviglia e l'attenzione degli scienziati.

Allorquando il vento spira carico di granellini di sabbia, che sono per solito di quarzo, battendo contro le rocce, le leviga, ne ottunde gli angoli, ne arrotonda la superficie. È il caso delle rocce calcaree che trovansi nel deserto di Sahara, che divengono in tal modo levigate come il marmo e finiscono poi coll'essere distrutte. Ed è pure il caso delle rocce striate, rigate, levigate del Colorado e della California.

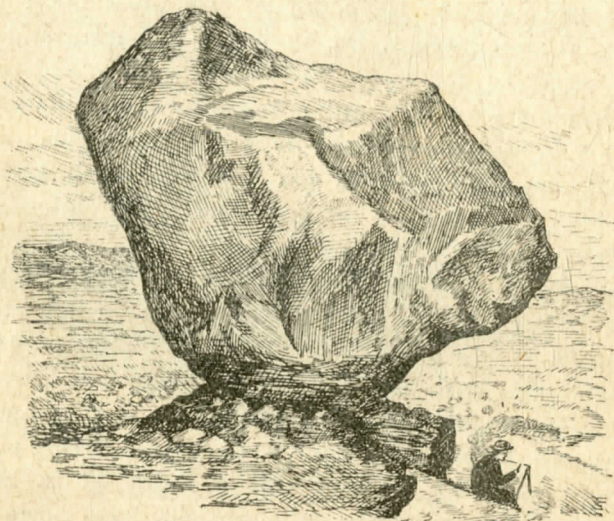



Fig. 22. — Masso di conglomerato, sopra base schistosa erosa dal vento, a Rocker - Creek nell'Arizona (da Gilbert).

Spesso il vento, trasportando via d'ogni parte, intorno ai blocchi rocciosi, il materiale in cui sono immersi, li isola (fig. 22).

Le dune. — L'atmosfera non ha soltanto una funzione demolitrice, ne ha anche una costruttrice, accumulando i materiali che trasporta. Tali accumulamenti, che si producono quando il vento spira per un dato tempo in una direzione costante, trasportando ed ammonticchiando i materiali sabbiosi delle spiagge e dei deserti, diconsi *dune*. Quando la sabbia è spinta dal vento in una direzione, se incontra un ostacolo sul suo cammino, vi si accumula con-

tro e forma un piccolo monticello, la cui maggiore pendenza è dal lato opposto a quello da cui il vento spira. Tali monticelli, per la incoerenza dei materiali che li costituiscono, e per la continua spinta del vento, sono tutt' altro che fissi; anzi sono obbligati a camminare continuamente nella direzione del vento, talché la sabbia, risalendo la dolce pendenza per precipitarsi poi pel pendío piú ripido, fa sí che la duna si avanzi, acquisti una forma a superficie ondulata, ed aumenti in altezza quanto piú essa procede nel senso in cui spira il vento (fig. 23).

Le *dune continentali*, cioè quelle che si formano nei deserti, giungono ad altezze assai notevoli, giacchè, se la elevazione di 500 metri è una eccezione, quelle dai 150 ai 200 metri sono invece assai comuni. Il principale gruppo

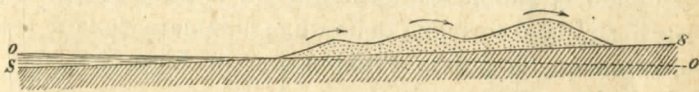



Fig. 23. — Dimostrazione dell'origine delle dune.
OO, livello del mare. — *SS*, superficie primitiva del suolo. *Le frecce indicano la direzione del vento.*

di dune continentali del Sahara è quello di Erg, formato da catene allungate e distinte. Le dune del deserto di Libia si avanzano verso l' Egitto, e vi hanno già sepolto antichi monumenti ed anche villaggi posteriori all' invasione araba.

Molto piú importanti, perché piú comuni, sono le *dune marittime*. La loro formazione dipende dalla intensità del vento, dalla natura della sabbia e della spiaggia, e dall' altezza dell' onda di marea; perciò nel Mediterraneo, ove la marea è debole, debole è anche l' elevazione delle dune. Infatti alle bocche del Rodano giungono appena all' altezza di 6 o 7 metri; quelle della Toscana (*tomboli*), delle Puglie, della Calabria appena a 9 metri. Invece, sulle coste dell' Atlantico, ove la marea è potente, giungono persino all' altezza di 90 e piú metri. Celebri sono quelle della Cornovaglia e della Guascogna. Le dune marittime si avan-

zano con grande rapidità, seppellendo intieri villaggi. Quelle della Guascogna si avanzano di circa 20 a 25 metri all' anno. La città di Auchoanne scomparve, scomparvero i villaggi di Lislau, di Auchise, di Lélas. Le dune dei Paesi Bassi e dell' isola di Sylt si avanzano in media per 7 metri all' anno. Cosí le dune della Kurische-Nehrung, che separa dal mare il Kurisches-Haff, hanno sepolto villaggi intieri e continuano a seppellirne. Si cerca di arrestarne il movimento imboscandole, ed è improvvida cosa abbattere le pinete che sulle dune possono essersi sviluppate. Un ordine di Federigo Guglielmo I, nel secolo scorso, faceva abbattere i pini delle dune da Danzica a Pillau; le sabbie ricominciarono il loro movimento e invasero la baia interna, arrecando danni gravissimi.

Quando la sabbia si accumula contro una spiaggia scoscesa e ripida si formano delle dune chiamate *dune d' ostacolo*, come quelle presso Finalmarina in Liguria.

Diffusione di organismi. — Altro non meno importante effetto dell' atmosfera è quello della diffusione di certi organismi; ma di ciò diremo quando ci occuperemo delle isole oceaniche e della loro fauna e flora. Basti qui ricordare le cavallette, che vengono talora spinte dal vento fino nella Calabria, la devastatrice fillossera, che per opera del vento si propaga di vigneto in vigneto, quei singolari ragni che sospesi ad un leggero filo valicano i mari, i frutti provvisti di pappo o di appendici alate, le spore di alcune piante, ecc.

LE ACQUE METEORICHE

Pioggia. — La storia della precipitazione atmosferica non è che un capitolo della storia dei venti. Infatti il calore, che dilata l' aria ed origina il vento, fa anche evaporare gli oceani; ed i venti si caricano di questi vapori, che, ricondensandosi per raffreddamento, precipitano sotto forma di acqua e di neve.

La produzione del vapore acqueo per evaporazione dalle superfici liquide è incessante, ma varia col variare delle condizioni di temperatura, di pressione, di ventilazione, ecc. Perciò si deve riconoscere che nella atmosfera esiste sempre una certa quantità di vapore acqueo, il quale, date le condizioni favorevoli, precipiterà poi sulla terra.

Dai libri di meteorologia si impara che una tale ricondensazione dei vapori può avere luogo sotto forma di *rugiada*, di *brina*, di *nebbia*, di *nubi*.

Ma a noi, che qui vogliamo occuparci delle pioggie sotto il punto di vista della loro azione dinamica e della loro influenza sui climi delle varie regioni, interessa principalmente considerarle nella loro distribuzione alla superficie della terra.

A tale scopo la prima osservazione che ci conviene di fare è che, in generale, la quantità della pioggia diminuisce dall'equatore ai poli, mentre aumenta la sua frequenza. La quantità della pioggia è poi in istrettissimo rapporto con la vicinanza del mare, ragione per la quale, in Europa, essa va diminuendo da occidente in oriente.

A determinare la quantità della pioggia concorrono anche le condizioni orografiche. Infatti un vento umido che incontri una catena di montagne, risalendola e raffreddandosi, è costretto a precipitare, sul fianco montuoso che gli si oppone, una grande quantità del vapore acqueo che conteneva, talchè discende dall'altro versante quasi secco.

È questa la ragione per cui la zona costiera del Cile e del Perú è quasi totalmente priva di pioggia. Infatti i venti piovosi scaricano tutta la loro umidità sul versante orientale delle Ande, e ridiscendono secchi lungo il versante occidentale.

Nell'Oceano Pacifico e nell'Atlantico, la zona delle calme equatoriali è immensamente ricca di pioggie. Ivi si incontrano gli umidi alisei, ed appunto a tale incontro si debbono le 9 ore, in media, di pioggia al giorno. Questa *zona delle pioggie equatoriali*, oscilla con la zona delle calme; nel febbraio, si spinge a sud, e cominciano allora le pioggie

sulle coste dell'America meridionale. A ricordare i luoghi piú piovosi di questa piovosissima zona, cito la costa affricana di Sierra Leona, ove cadono ogni anno 4800 millimetri di pioggia, e Maranhao nel Brasile, ove ne cadono 7110 millimetri.

Le località vicine all'equatore hanno due epoche di pioggia, la primaverile e l'autunnale.

Nell'Oceano Indiano, in conseguenza dei monsoni, si hanno anche particolari condizioni di pioggia. Il monsone di S-W, che spira d'estate, porta nell'India i vapori dell'Oceano Indiano, incontra i Gati e vi precipita una parte di tali vapori; dietro a queste montagne la precipitazione è molto minore. Grande è la quantità di pioggie sul versante meridionale dell'Imalaia, ove giunge il vento umido dal golfo di Bengala. Ed appunto nell'Imalaia, a Cerra Pungi, cade la maggior copia di pioggia (14200 mm. all'anno), e vi cade con tale intensità, da somigliare addirittura a violenti rovesci.

Nelle zone temperate piove molto meno. Si possono considerare ivi due zone: quella delle *pioggie invernali,* in cui durante l'estate manca quasi totalmente la pioggia; e quella delle *pioggie in ogni stagione.* Appartengono alla prima zona: la California, l'Asia Minore, grandissima parte del Mediterraneo; alla seconda: quasi tutta l'Europa, il Canadà, la Nuova Zelanda meridionale, le coste occidentali della Patagonia ecc.

Ultima viene la *zona arida*, cui appartengono i grandi deserti di Sahara e di Libia, la depressione Aralo-Caspica, le regioni centrali dell'Asia, il bacino del Gran lago Salato nell'America del Nord.

Da tutto ciò si ricava che la distribuzione delle pioggie è tutt'altro che uniforme nei vari paesi. Ma possiamo anche dire che in una stessa regione la quota della pioggia è pure diversa coll'altitudine; poiché alla base di una montagna si avrà abbondanza di vapori, ma non molta precipitazione, essendovi piú elevata la temperatura; mentre, salendo dagli 850 ai 3000 m., e 3500, si ha, è vero, minor quantità di vapore, ma questo, per la diminuita temperatura, si con-

densa più facilmente, ed in quella zona è dunque più abbondante la precipitazione; a maggiore altezza la grande scarsità di vapori produce anche pochissima precipitazione.

Le nevi ed i ghiacci. — Perché cade la neve? Perché la condensazione dei vapori atmosferici ha avuto luogo in una zona la cui temperatura è inferiore allo zero; ed il vapore acqueo condensato, non potendo mantenersi liquido per la bassa temperatura, è stato costretto a cristallizzare, formando appunto quelle elegantissime dendriti, che sono caratteristiche dei candidi fiocchi della neve.

Ed appunto sui monti, verificandosi coll'aumentare della altitudine anche un notevole abbassamento di temperatura, ha luogo principalmente la precipitazione della neve.

Però la neve che cade sulle sommità montuose di rado è formata da quei graziosi fiocchi che si osservano nelle basse regioni; essa è invece costituita di piccolissimi granuli e di aghetti; è insomma una specie di minutissima gragnuola.

Una linea, per solito nettamente delimitata sul fianco della montagna, segna il limite della temperatura oltre la quale i vapori precipitano sotto forma di neve, e spicca con notevole contrasto al disopra della zona verdeggiante che è nel dominio delle pioggie.

Si intende bene che questo limite inferiore delle nevi varia a seconda delle stagioni; infatti d'inverno scende, ad esempio nelle Alpi, fino alle falde, per risalire lentamente nella successiva primavera fino alle cime, che, se non elevatissime, sono, d'estate, spoglie d'ogni traccia di neve.

Al disopra della zona inferiore delle nevi, che sempre si fondono e sempre si rinnovano, le nevi vanno continuamente accumulandosi, poiché vi cadono in quantità superiore a quella che il sole può giungere a fondere durante la calda stagione; talché enormi quantità di neve si ammassano nelle incavature, e sulle vette stesse, là ove la pendenza non sia tale da permettere la loro rapida caduta al basso. Queste nevi si accumulano su tutte le alte

montagne del globo, e si dà loro il nome di nevi *perpetue*, *persistenti* o meglio *perenni*.

Il limite inferiore delle nevi perenni non è uguale per tutte le catene montuose, e neanche per i due fianchi di una stessa catena, poiché la maggiore precipitazione nevosa, e con essa anche l'abbassarsi della linea inferiore delle nevi, è in correlazione con la maggiore umidità dei venti che battono contro i versanti, in relazione con la diversa temperatura, nonché con l'ampiezza della massa montuosa, con la ripidità della pendenza, ecc. Per questo appunto nelle Alpi la quantità di neve caduta varia da montagna a montagna, a seconda della altitudine, della esposizione dei versanti ed a seconda del regime climaterico dell'annata.

Tenendo conto di tutte queste considerazioni, il limite delle nevi perenni nelle Alpi centrali oscillerebbe fra 2730 e 2800 metri, mentre nelle Alpi marittime sarebbe di 3300 m. Nell'Imalaia, sul versante meridionale esposto agli umidi venti dell'Oceano Indiano, il limite delle nevi sarebbe a 4900 m.; mentre sul versante settentrionale, benché piú freddo, risale a 5700 m. Il versante occidentale delle Ande boliviane, ove raramente spirano venti umidi, ha nevi perenni solo a 5600 m.

Si dice che andando verso il polo il limite inferiore delle nevi perenni si abbassi sino al mare; ma ciò, pel polo artico, è inesatto, perché non fu rinvenuta terra artica che fosse, in estate, rivestita completamente di neve. Ciò accade invece nelle terre australi, ove alle estati fredde si aggiunge una notevole precipitazione. Cosí nella Georgia del Sud, che è ad una latitudine equivalente a quella dell'Islanda, il limite inferiore delle nevi perenni è al livello del mare.

Liquefazione delle nevi — Valanghe. — Sarebbe errore il credere che gli strati di neve ammassati sui fianchi o sulle cime delle montagne vi si mantenessero costantemente; poiché, se ciò fosse, in pochi anni, le cime si eleverebbero di molto. Una parte di neve, evaporando, torna all'atmosfera, ed altra neve cade nelle vallate, formando le *valanghe* e i *ghiacciai*.

Si calcola che i raggi del sole giungano a fondere sino da 50 a 70 centimetri di neve al giorno; e sarebbe già molto;

pure non sono essi che direttamente esercitano la maggiore azione di fusione, la quale devesi trovare principalmente nei venti, ed in particolar modo in quelli caldi; e dico in particolar modo, poiché anche quelli freddi, facendo turbinare la neve e precipitandola sopra pendii più bassi, concorrono alla sua fusione. Fra i venti caldi, quello che ha azione grandissima nelle vallate svizzere è il *föhn*, il quale fonde tanto rapidamente la neve, da giustificare il detto dei montanari, che quel vento « mangia la neve ».

Quanto alle *valanghe*, esse non sono che masse di neve le quali si precipitano dall'alto per i fianchi del monte, producendo lungo il loro cammino disastri spaventevoli. Basta talora lo staccarsi di un ramo di una pianta, il passaggio di un camoscio per provocare la caduta di una massa di neve, ancora polverulenta e poco o nulla aderente alla neve indurita sottoposta; questa massa, ingrossandosi mano mano per nuovi strati di neve che incontra lungo il suo cammino, aumentata dai detriti e dalle pietre che seco trascina, spezza e distrugge tutto ciò che incontra, nel tempo stesso che a lei d'attorno turbinano violentemente le masse d'aria, compressa pel rapido movimento della valanga nevosa, producendo trombe capaci di svellere le rocce e di sradicare gli alberi.

Nevischio. — Allorquando la neve caduta sopra una montagna, ed accumulatasi in una di quelle depressioni o circhi (ove forma il così detto *campo di neve*), comuni nei gruppi montuosi, è costretta pel proprio peso a cercare una uscita per le naturali vie di scarico del circo stesso, essa origina, per una serie di fenomeni che è necessario conoscere, i ghiacciai.

La neve granulosa forma da prima una massa incoerente, ricchissima di cavità; ma, in seguito, l'azione del calore solare fonde parzialmente i cristallini di neve superficiale, e le goccioline liquide penetrano negli strati sottoposti, vi gelano nuovamente e cementano così i cristallini nevosi più interni. Proseguendo in tal guisa il fenomeno, la massa nevosa a poco a poco indurisce, e si tra-

sforma in un ammasso granuloso, da cui l'aria è parzialmente espulsa per la liquefazione dei cristallini di neve prodottasi sotto l'azione dei raggi solari e per la loro successiva congelazione. A questa massa granuloso-bollosa si dà il nome di *nevischio.*

Ghiaccio. — In ultimo, continuando il fenomeno sopra accennato, le bollicine di aria si eliminano sempre piú, concorrendovi anche la pressione che gli strati superficiali del nevischio esercitano sopra quelli sottoposti, talché a poco a poco la massa acquista la struttura e la trasparenza del ghiaccio, ma di un ghiaccio bolloso; di poi questo diviene piú povero di bollicine d'aria, finché si arriva al ghiaccio omogeneo, compatto, di un colore azzurrognolo, e di notevole trasparenza. Il ghiaccio cosí originatosi è uno dei piú potenti ed efficaci agenti geologici.

I GHIACCIAI

Ghiacciaio. — Formatosi nelle alte valli, il ghiaccio, e con esso anche il nevischio, costituisce ingenti masse gelate, che vedremo essere in continuo movimento verso le regioni piú basse, come veri fiumi di ghiaccio.

La dimensione della massa di ghiaccio formatosi allo sbocco del campo di nevischio dipende da due principali fattori, l'uno tendente ad aumentarla, l'altro ad eliminarla, ossia la *alimentazione* e la *ablazione.*

L'*alimentazione* di un ghiacciaio è dovuta alla quantità della neve caduta, che lo ha originato. Si capisce che quanto maggiore è la quantità di nevischio che si forma, tanto maggiore sarà la quantità del ghiaccio in cui esso si trasforma. Ad opporsi all'aumento colossale, che subirebbero i ghiacciai per questa incessante alimentazione, si ha l'*ablazione*, dovuta alla fusione superficiale ed interna del ghiacciaio, per azione della radiazione calorifica, la quale può dipendere dalla azione diretta dei raggi solari, dalla condensazione dei vapori sopra il ghiaccio, dalla pioggia che penetra nelle

innumerevoli fessure capillari del ghiaccio, dalla irradiazione calorifica delle roccie circostanti, dalla stessa evaporazione del ghiacciaio; ma principalmente il ghiaccio si scioglie per opera dei venti caldi, fra cui il *föhn* già ricordato.

Avanzandosi il ghiacciaio in regioni sempre piú basse e piú calde, è naturale che l'ablazione vada sempre aumentando; e, diminuendo lo spessore del ghiaccio, esso *rigurgita* i materiali che racchiudeva e che vi erano caduti nelle regioni piú elevate. Quando poi l'ablazione fa perfetto equilibrio alla alimentazione, il ghiacciaio non si avanza piú.

L' importanza geologica massima l' hanno i ghiacciai assai estesi che occupano le valli larghe e profonde e sono formati da una massa ingente, sia per volume che per lunghezza. Meno importanti sono i ghiacciai di ***secondo ordine*** o ***vedrette***, che si formano sulle ripide pendenze, né giungono alle vallate vicine, tanto che raramente si spingono oltre il limite delle nevi perenni. Si ha per altro un graduato passaggio dalle vedrette ai ghiacciai.

Movimento dei ghiacciai. — Abbiamo detto che *i ghiacciai sono grandi fiumi di ghiaccio.* L' espressione non sembri esagerata, poiché in realtà i ghiacciai si muovono dalle alte alle basse regioni. A chi non è abituato al grandioso spettacolo dei ghiacciai alpini può destare meraviglia l' idea che una massa solida si muova da sé, ma presso i montanari alpini il fatto era noto sin da antichissimo tempo, e di esso la scienza si impossessò solo dopo la pubblicazione dei viaggi del De-Saussure [1].

Hugi nel 1827 fece costruire una piccola capanna sulla morena mediana dell'Unteraar, e questa fu trovata spostata, nel 1841, verso valle, di 1428 metri; il che provava che il ghiacciaio erasi avanzato in media di 110 metri all'anno. Oltre ad Hugi molti altri scienzati si diedero allo studio dei ghiacciai, e fra questi conviene ricordare

---

[1] Celebre naturalista nato a Ginevra nel 1740, morto nel 1799.

l'Agassiz, il Forbes, il Tyndall. Le osservazioni di questi scienziati resero palesi altri fatti non meno importanti, cioè che la velocità è maggiore nel mezzo che ai lati (fig. 24), alla superficie che al fondo; che aumenta quando il ghiacciaio si restringe, diminuisce invece quando si allarga; che nelle curve la velocità maggiore si ha verso la concavità, la minore alla convessità; che la velocità varia colla pendenza e colle stagioni.

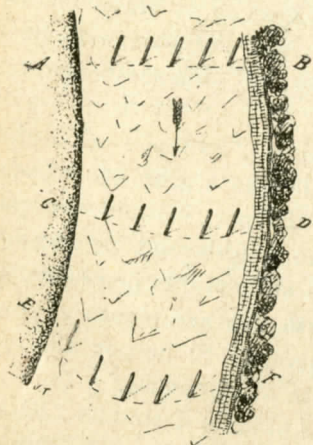



Fig. 24. — Figura schematica per dimostrare il movimento dei ghiacciai. I segnali piantati in linea retta nella direzione $A\,B$, in capo a qualche tempo si trovano disposti più in basso secondo la linea curva $C\,D$, e più tardi ancora più in basso sulla curva più sentita $E\,F$.

Stabilito che i ghiacciai si muovono (e tale movimento non è a scosse, ma continuo, benché ora più rapido ora più lento), si dimanda: perché i ghiacciai si muovono?

Questo *perché* fu causa di diverse e numerose discussioni tra i vari fisici.

Si disse da prima che il ghiacciaio si moveva per effetto della semplice gravità, sdrucciolando addirittura lungo un pendìo, e di questa opinione erano il Saussure ed altri; ma tale teoria è insufficiente a spiegarci perché il ghiacciaio si adatti così bene alla forma della valle ove scorre, restringendosi ove questa si restringe, allargandosi là ove si dilata; né ci spiegherebbe perché le *vedrette*, che sono sopra pendìo ripidissimo, sono molto meno veloci dei ghiacciai di primo ordine.

Il Charpentier, basandosi sull'aumento di volume dell'acqua che congela, ammetteva che l'acqua di infiltrazione gelando e dilatandosi spingesse tutta la massa del ghiacciaio. Si capisce la falsità di tale teoria, considerando che la dilatazione dovrebbe produrre un rigonfiamento nella massa del ghiacciaio e non un semplice movimento di discesa.

Invece tutti i fenomeni del movimento del ghiacciaio sono spiegati colla teoria del *rigelo* e della *plasticità* del ghiaccio.

Ora vedremo come va intesa la plasticità del ghiaccio; quanto al rigelo, esso è quel fenomeno per cui i frammenti di ghiaccio, quando sieno premuti fondono sulla superficie di contatto, e l'acqua che si produce, sottraendosi alla pressione, e trovandosi a temperatura inferiore a 0°, rigela, saldando così tra loro i frammenti.

Il Bianconi dimostrò sperimentalmente che a temperature comprese fra + 1° e + 6° una sbarra di ghiaccio premuta alle estremità si piega sensibilmente, ciò che paleserebbe nel ghiaccio una specie di plasticità. Le classiche esperienze del Tyndall, dell'Helmholtz, dell'Edward-William hanno dimostrato che il ghiaccio, frantumato e compresso fortemente in una forma, si riduce in una massa omogenea e limpida, modellandosi sulla forma stessa.

Osservando ora che la massa del ghiaccio di un ghiacciaio presenta una innumerevole rete di sottilissime fessure che ne interrompono la continuità, cui il rigelo tende continuamente a ricostruire, osservando che la massa stessa è soggetta alla azione della gravità e che è continuamente spinta verso il basso dalla pressione degli strati posti più a monte, osservando che le particelle, isolate per opera delle fessure, debbono per tale pressione spostarsi verso valle, scivolando in certo qual modo le une sulle altre, per risaldarsi poi nuovamente, si intende bene perché il ghiacciaio si muova, seguendo le leggi del movimento delle masse liquide.

Questa grande plasticità, effetto del rigelo, fece credere al Forbes che il ghiaccio fosse di natura vischiosa, e come le sostanze vischiose si movesse. Ma se il ghiacciaio è plastico, non lo è della plasticità della pece e del miele.

Crepacci. — La plasticità del ghiacciaio non è per altro tale da permettergli di adattarsi perfettamente e prontamente, senza rompersi, a tutte le sinuosità della valle e a tutte le ineguaglianze del fondo. Si formano quindi spesso delle spaccature alla sua superficie, le quali possono essere trasversali e longitudinali.

La maggior parte di tali spaccature o *crepacci* si forma in prossimità delle sponde, in seguito al rallentamento che ivi la velocità della massa del ghiaccio subisce, in confronto con la velocità della linea mediana del ghiacciaio,

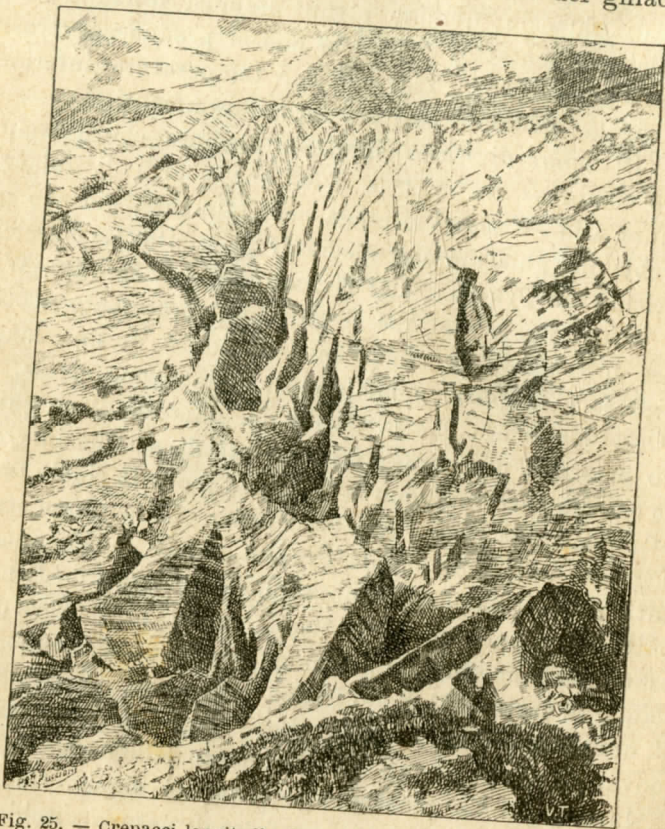



Fig. 25. — Crepacci longitudinali in un ghiacciaio del Monte Rosa visti dal Bel Vedere a Macugnaga.
Trasversalmente, nella massa del ghiaccio, si osservano delle stratificazioni. In basso si scorgono dei tritumi morenici

per l'attrito con le pareti rocciose che lo fiancheggiano. Tale rallentamento provoca una tensione della massa del ghiaccio nel senso del movimento, il cui effetto è appunto la formazione dei *crepacci laterali*. Altri crepacci, sia *longitudinali* sia *trasversali*, si formano per le inegua-

glianze del fondo su cui il ghiacciaio scorre (fig. 25 e 26). Il crepaccio si annunzia con uno scoppio, cui accompagna la formazione di una fessura sottile, che si allarga a poco a poco, e che, coprendosi d'inverno di apparenti ponti di neve, può essere causa di spaventose disgrazie per gli imprudenti alpinisti.

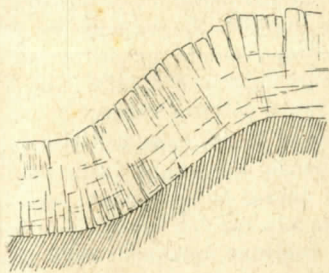



Fig. 26. — Crepacci trasversali di un ghiacciaio visto in sezione.

Quanto piú vivo sarà il dislivello del fondo, tanto piú numerosi e larghi ed intrecciati saranno i crepacci, ed il ghiacciaio si ridurrà ad un ammasso di punte, guglie, blocchi, quasi una colossale cascata di ghiaccio. Superata la cascata, il ghiacciaio comincia novamente a scorrere compatto verso le regioni piú basse.

Superficie dei ghiacciai. — Alla superficie del ghiacciaio si osservano delle *striscie fangose* (fig. 27) che sono la testata delle superfici degli strati annuali di ghiaccio, superfici su cui sonosi accumulati dei detriti fini. Queste striscie fangose, colla loro convessità verso valle dimostrano chiaramente la maggiore velocità del ghiacciaio lungo la linea mediana.

Fig. 27. — Striscie fangose del ghiacciaio (dal De Lapparent).

Di piú la superficie dei ghiacciai è lungi dall'essere perfettamente piana; anzi, teoricamente, dovrebbe essere a schiena di mulo; e ciò perchè, per effetto della irradiazione calorifica delle pareti rocciose, l'ablazione è maggiore ai lati che nel mezzo.

Sulla superficie dei ghiacciai sono da notarsi anche le cosí dette *tavole del ghiacciaio* (fig. 28), che consistono in grosse pietre sostenute da un gambo di ghiaccio; la pietra ha protetto il ghiaccio a lei sottoposto contro la irradiazione impedendone la fusione, mentre tutto all'intorno il ghiaccio si é fuso.

Fig. 28. — Tavola del ghiacciaio. (dal De Lapparent).

L'acqua dovuta alla fusione superficiale del ghiacciaio scorre sopra a questo in numerosi piccoli ruscelletti, e si precipita nelle screpolature, allargando le fessure sottili e sviluppando un pozzo circolare detto *mulino del ghiacciaio.* I grandi ciottoli, che attraverso ai crepacci precipitano sul fondo del ghiacciaio, costretti, dalla forza

dell'acqua che cade dal ghiacciaio, a muoversi continuamente sul posto ove sono caduti, scavano delle cavità, che è facile osservare nel giardino glaciale di Lucerna, cavità cui fu dato il nome di *caldaie dei giganti*, nelle quali si trovano generalmente i ciottoli che le hanno originate (fig. 29). Le caldaie dei giganti possono essere anche scavate nei torrenti impetuosi e dalle cascate dei fiumi, e si possono vedere al piede della cascata di Sciaffusa nel letto del Reno, quando d'estate il livello delle acque di questo fiume è molto basso.

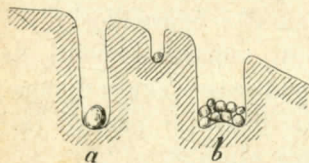



Fig. 29. — Caldaie dei giganti (dall' Issel).

Arrivate che sieno, le acque dovute alla fusione superficiale del ghiacciaio, sul letto del medesimo, ivi scorrono formando uno o più torrenti, ed escono all'estremità di esso per una o più aperture spesso alte parecchi metri, che sono chiamate *porte* o *grotte* del ghiacciaio. Talora, negli inverni rigidi, la porta si ostruisce completamente ed il torrente non scola più. Lo spettacolo che si gode entrando in una di tali grotte è bellissimo, per i riflessi iridati del ghiaccio dovuti a fenomeni di rifrazione.

Fig. 30. — Topografia della *Mer de Glace* (dallo Stoppani).

Spessore, pendenza del ghiacciaio e sua lunghezza. — Il pendìo su cui può scorrere un ghiacciaio è variabilissimo. La *Mer de glace* di Chamounix (fig. 30) ha una pendenza media di 5 a 6 gradi. Quanto più grande è l' alimentazione, tanto più è grande la massa di ghiaccio e quindi maggiore lo spessore. Il detto Mar di Ghiaccio giunge almeno allo spessore di 150 metri; a quello di 260 m., in alcuni

punti, arriva il ghiacciaio dell'Aar, (ma la sonda non aveva toccato il fondo), a 600 m. alcuni ghiacciai delle regioni polari. I ghiacciai del Monte Bianco possono giungere sino in mezzo ai campi coltivati, a 1000 metri di altitudine; ed il ghiacciaio di Waian nella Nuova Zelanda, grazie alla notevole alimentazione, scende sino a 212 metri sul livello del mare, in mezzo ad una vegetazione tropicale, avendosi, a pochi passi dal ghiacciaio, palme, felci arborescenti, dracene e, sul margine stesso del ghiacciaio, conifere ed altri splendidi vegetali.

Distribuzione geografica dei ghiacciai. — Non è vero che tutte le montagne, che spingono la loro vetta oltre il limite delle nevi perenni, debbano necessariamente avere ghiacciai; poichè, a tal fine, occorre che la zona nevosa della cima abbia grande estensione, che si formino nei circhi e sulle piattaforme potenti nevai, che le montagne sieno battute da venti umidi, che le gole non abbiano pendio troppo ripido, che esse confluiscano insieme, che gli estremi di temperatura nelle varie stagioni, per favorire la fusione ed il rigelo, sieno notevoli.

Dice il De-Lapparent, che giunge a 50000 chilometri quadrati la superficie della terra occupata dai ghiacciai delle principali catene montuose. Piccola cosa invero, in confronto alla estensione che ebbero i ghiacci in un' epoca alla nostra vicina, ma notevole invece per la potente azione modificatrice che essi esercitano sulla superficie della terra.

In Europa le Alpi sono le montagne in cui la formazione dei ghiacciai è potentemente sviluppata. Si contano infatti nelle Alpi circa 2000 ghiacciai, di cui circa 200 sono di primo ordine; e la superficie dei soli ghiacciai alpini e dei campi di neve si calcola a circa 3500 km^2. In media i ghiacciai alpini scendono sino a 2000 m. di altitudine; ma ho già detto che ve ne sono di quelli che si spingono assai piú in basso, come ad esempio quello di Grindelwald, che si arresta a circa 983 m. Il piú importante per le sue dimensioni è il ghiacciaio di Aletsh, lungo 24 chilometri. Il Mare di ghiaccio, dal colle del Gigante alle sorgenti dell'Arveiron, è lungo 12 chilometri. Nè meno importante è il ghiacciaio dell'Aar, che, sopra una lunghezza di 8 chilometri, ha una larghezza massima di un chilometro e mezzo. Voglio ricordare anche il ghiacciaio del Forno che scende dal gruppo di Bernina, ed i ghiacciai del Rodano (fig. 31), del Gran Paradiso (fig. 32), della Marmolada.

Nei Pirenei non si notano che vedrette. I Carpazi mancano di ghiacciai. Ne ha il Caucaso, ma non paragonabili a quelli delle Alpi,

sebbene ultimamente se ne siano perlustrati alcuni di notevoli dimensioni. La Scandinavia ha ghiacciai che si spingono assai in basso, fin verso la superficie del mare, nei *fiordi,* ossia in quelle spaccature

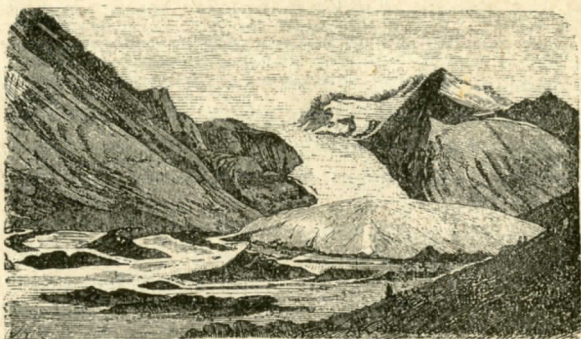



Fig. 31. — Il ghiacciaio del Rodano alla sua fronte.

normali alla costa, che sono importantissime pei rapporti che presentano coi nostri laghi alpini.

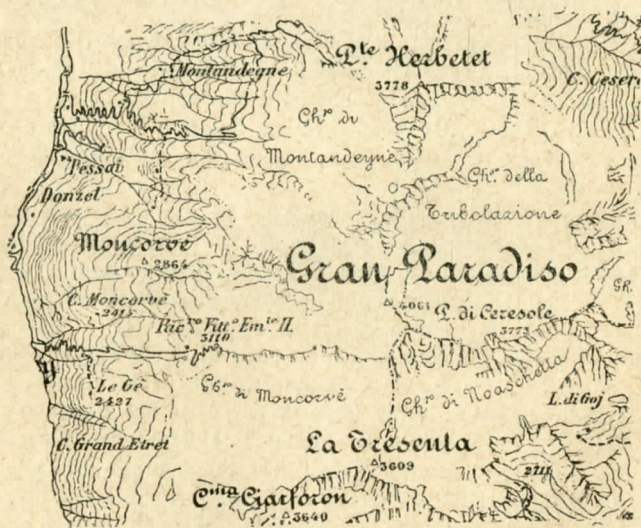



Fig. 32. — Ghiacciai del Gran Paradiso, la piú alta delle Alpi esclusivamente italiane: nella proporzione di 1 a 100,000.

Nell'Asia, potentissimi sono i ghiacciai dell'Imalaia, del Caracorum, del Cuen-Lun, del Tian-scian. Il ghiacciaio di Biafo nella vallata di Chiggar (Caracorum) ha una lunghezza di 58 chilometri

con una estensione, in superficie, di piú centinaia di chilometri quadrati. Gli Altai, benché colossali montagne, non hanno ghiacciai importanti.

Nel nuovo continente si hanno ghiacciai a nord, e ne parleremo quando diremo dei ghiacci polari, ma, andando verso sud, per lungo tratto scompaiono. Le montagne Rocciose non hanno ghiacciai; se ne trovano sulle montagne delle Cascate. La Sierra Nevada di California ne ha, ma poco importanti; e poco importanti e poveri sono quelli della zona tropicale, tanto da poter dire che le Ande sono prive di ghiacciai per piú di 5000 chilom. di lunghezza. Oltre il 35° di lat. sud, i ghiacciai ricompariscono e divengono sempre piú numerosi ed importanti; e sulla costa della Patagonia giungono sino in prossimità della spiaggia. Ho già citato un ghiacciaio della Nuova Zelanda, il Waian, che scende dal versante occidentale delle Alpi Neo-Zelandesi; ricordo anche quello di Tasman, che scende dal versante orientale delle stesse montagne.

Azione dinamica dei ghiacciai. — I ghiacciai sono uno dei piú potenti agenti geologici, e le modificazioni che essi inducono sulle rocce, restano, anche quando un ghiacciaio sia scomparso, ad attestarne la presenza in un periodo passato.

Noi sappiamo che le rocce, sotto l'azione degli agenti meteorici, si spezzano, si disgregano e cadono. È naturale adunque che sul ghiacciaio precipitino, dalle rocce che lo fiancheggiano, blocchi e frammenti. Tali blocchi e frammenti sono trasportati sul ghiacciaio, e si accumulano ai lati di questo, formando le *morene laterali* (fig. 33).

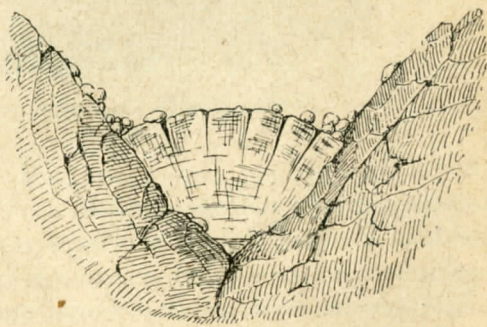



Fig. 33. — Sezione trasversale di un ghiacciaio con le morene laterali, (dal De Lapparent).

Tra le morene laterali ve ne sono di quelle che si inalzano sino a 25 e 30 metri sul livello generale del ghiacciaio. La forma e le dimensioni dei blocchi e dei detriti

che formano le morene sono variabilissime: ve ne sono di quelli che giungono a piú migliaia di metri cubi.

A questi grandi massi, che trovansi disseminati ovunque sia passato un ghiacciaio, si dá il nome di *massi erratici*. (fig. 34).

Allorquando due ghiacciai confluiscono, la morena destra dell' uno si unisce colla sinistra dell'altro, e si origina cosí una terza morena parallela alle laterali, che, per la sua posizione nel mezzo del ghiacciaio, è chiamata *morena mediana*; e siccome si formano tante morene mediane quanti sono i ghiacciai che confluiscono, cosí dal numero di tali morene mediane potremo arguire il numero dei ghiacciai con-

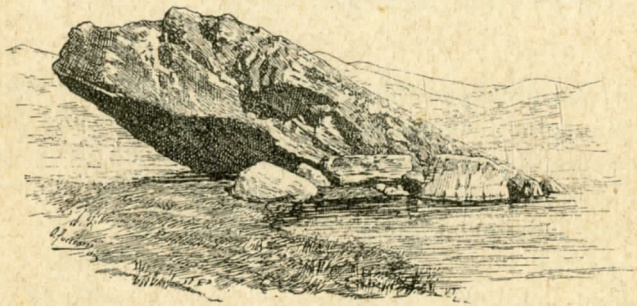



Fig. 34. — Masso erratico presso Ispra sul Lago Maggiore.

fluenti (vedi fig. 30). È vero però che le morene mediane, per lo sparpagliarsi dei materiali che le formano, possono confondersi insieme. Alla loro origine molte morene mediane spariscono entro crepacci, e sono cosí inghiottite dal ghiacciaio; poscia, dopo avere percorso uno spazio piú o meno lungo in seno al ghiacciaio, per la graduata fusione dello strato che loro sovrincombe, ricompaiono alla superficie. È questo un fenomeno di cui già abbiamo parlato, noto col nome di *vomito del ghiacciaio*, per opera del quale si opera anche un accrescimento delle morene.

Una importanza capitale l'ha la *morena di fondo*, non riconosciuta in tutti i libri, ma di cui non può mettersi in dubbio l'esistenza, perché comprovata anche da osser-

vazioni dirette. Essa è costituita da fine sabbia, imbevuta d'acqua e di ciottoli, che, movendosi col ghiacciaio sul fondo roccioso, deve necessariamente svilupparvi una potentissima azione di erosione. E che ciò sia vero lo vedremo fra breve. I *ciottoli* di questa morena profonda hanno forma arrotondata e faccie disuguali, e sono solcati da numerose strie che si intrecciano in varie direzioni (fig. 35), mentre i ciottoli della superficie non sono nè striati nè arrotondati, e conservano intatte tutte le loro asperità.

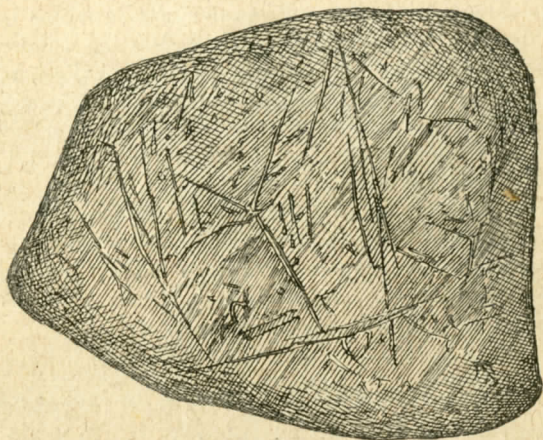



Fig. 35. — Ciottolo glaciale striato.

I blocchi delle morene laterali e delle mediane, quando giungono alla fronte del ghiacciaio, cadono, ammonticchiandosi in colossali ammassi, che possono essere spinti innanzi ad ogni avanzarsi del ghiacciaio. Queste *morene frontali*, che così chiamansi, sono interessantissime; si dispongono a semicerchio là ove il ghiacciaio si arresta, formando, col succedersi del tempo, delle colline concentricamente disposte, che si seguono dal fondo della valle verso il ghiacciaio, colla convessità a valle, costituendo il così detto *anfiteatro morenico*. Lo studio di tali morene frontali permette di ricostruire la storia del ghiacciaio. Infatti la più lontana morena frontale ci indicherà la località ove giunse

il ghiacciaio nel suo massimo sviluppo, e la piú vicina il confine attuale del ghiacciaio; se quest'ultima è a contatto col ghiaccio vorrà dire che questo è in via di progresso; ma se fra questa ed il ghiacciaio v'è uno spazio occupato da tritumi, allora il ghiacciaio è in ritirata, per cui abbandona i tritumi senza accumularli, e senza poter formare una nuova morena frontale.

Le colline che sorgono a N–W di Udine, costituite da una serie di semicerchi concentrici, non sono che morene frontali; ma non stanno a petto con le colline moreniche che trovansi alla estremità meridionale del lago di Garda, sulle quali si combatterono tante battaglie, e si decisero le sorti d'Italia, con S. Martino e Solferino.

Una morena frontale di ghiacciaio esiste nella Valle d'Arni (Alpi Apuane), e ci sta a dimostrare che una volta dal circo formato dal Monte Altissimo, dal Monte Vestito, dal Monte Sella e dal Monte Fiocca discendevano ghiacciai. Altri ghiacciai, pure nelle Alpi Apuane si ebbero nelle valli del Frigido e del Carrione.

In passato discesero fiumi di ghiaccio dall'Appennino settentrionale, stendendosi sino alla valle del Reno di Bologna; se ne ebbero che scendevano dalle giogaie del Gran Sasso, altri che si svilupparono nel Dolcedorme ai confini della Basilicata, al Monte Serino. Nè mancano traccie glaciali nella Corsica.

Ricordo anche le *morene insinuate* e le *morene d'ostacolo*, dovute, le prime, all'insinuarsi di un ghiacciaio, con una delle morene che lo fiancheggiano, in una valle laterale, le seconde all'accumularsi del detrito morenico lungo una pendice che si oppone al cammino del ghiacciaio, obbligandolo a dividersi in due rami.

La enorme pressione del ghiacciaio, unita alla presenza della morena di fondo e dei ciottoli incassati nella massa glaciale che si muove, deve esercitare sul fondo della valle, ove il ghiacciaio scorre, una azione meccanica potentissima. Infatti i ciottoli tracciano sulle roccie delle strie che indicano la direzione del movimento, oppure sono le roccie aguzze, che, piú dure del ciottolo, striano questo, mentre esso si arrotonda. I fini detriti agiscono poi come smeriglio, lisciando e levigando il fondo e le pareti della valle (fig. 36). A tale azione sono soggette tutte le ineguaglianze del

fondo, come le testate delle fratture di sfaldatura o di altre fratture od anche le testate di strati, alcuni piú facilmente, altri meno facilmente erosibili, talché, quando il ghiacciaio si ritira, le valli si mostrano con protuberanze dure, arrotondate, ondulate, e, per la somiglianza che hanno con un branco di pecore addormentate, furono dai francesi dette *roches moutonnées.*

Per effetto di tale continua levigazione formasi sul fondo del ghiacciaio un fango grigiastro, che facilmente si distingue per la sua finezza dal fango torrenziale. A questo

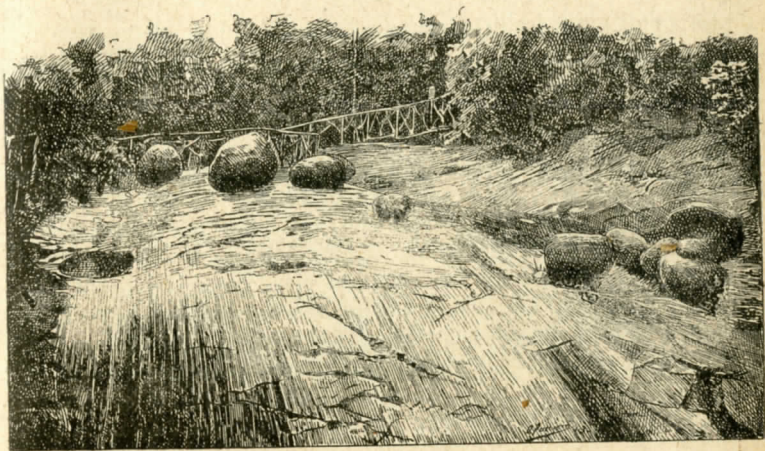



Fig. 36. — Superficie di roccie levigate dai ghiacciai antichi nel Giardino del ghiacciaio (Gletschergarten) a Lucerna in Svizzera. I massi superficiali sono resti della morena di fondo.

fango si deve la colorazione lattiginosa delle acque del torrente che esce dalla bocca del ghiacciaio.

Oscillazioni dei ghiacciai. — Siccome l'alimentazione e l'ablazione di un ghiacciaio sono elementi tutt'altro che fissi, anzi variano colle condizioni igrometriche e di temperatura, cosí nemmeno la lunghezza ed il volume di un ghiacciaio si potranno considerare come fissi; e, per conseguenza, il ghiacciaio si avanzerà o retrocederà a seconda che prevalga l'alimentazione o l'ablazione. Si capisce che, in conseguenza della diversità delle stagioni, si avranno le

oscillazioni annuali, per cui il ghiacciaio si avanza d'inverno e si ritira d'estate; ma non sono queste le piú importanti. Si noti poi non esser necessario, che quando un ghiacciaio si ritira, si debbano ritirare anche gli altri; poiché, in uno stesso gruppo montuoso, ghiacciai affatto vicini possono trovarsi fra loro in notevole discordanza di movimento, ciò dipendendo dalla diversa forma orografica della valle, dalla sua diversa esposizione, dalla maggiore o minore ampiezza del campo di neve, ecc. Infatti il ghiacciaio di Görner in Svizzera nel 1859 si avanzava, mentre quello di Findelen, sul versante opposto, si ritirava.

Le oscillazioni dei ghiacciai sono da cosí poco tempo studiate, che sarebbe prematuro volerne stabilire le leggi.

I dati che si hanno sulle oscillazioni, diremo cosí, straordinarie dei ghiacciai alpini si riassumono brevemente. È certo che i ghiacciai del Monte Rosa e del Monte Bianco si avanzarono con notevole rapidità durante i sei anni compresi fra il 1812 ed il 1818. Dopo incominciò un movimento di ritirata che durò fin verso il 1825, epoca in cui tornarono ad avanzarsi fino al 1839. Allora ricominciò un moto di regresso, finché nel 1842 si ebbe un rapido movimento di progresso, fino al 1854, cui succedette un nuovo periodo di ritirata. Su per giú, con poca differenza di anni, è avvenuto il medesimo per tutti gli altri ghiacciai alpini. Ma dal 1879 in quà sembra che molti di essi abbiano ricominciato ad avanzarsi; certamente nel 1890 i ghiacciai del Monte Bianco e del Monte Rosa erano in aumento.

Laghi glaciali. — Quando un ghiacciaio, avanzandosi, sbarra una valle laterale, in cui scorre un ruscello od un torrente, le acque di questo sono costrette ad arrestarsi e formano dei laghi; i quali, fondendo talvolta l'ostacolo che si è opposto alle loro acque, possono produrre ingenti disastri. Il Reclus, fra gli altri, ricorda, il terribile disastro del 1818 nella vallata di Bagnes, ove il ghiacciaio inferiore del Gietroz, nel gruppo del Monte Rosa, sbarrò il corso al torrente della Dranse, formando un lago esteso per piú di un chilometro. Invano gli abitanti della valle gli aprirono un canale di scolo, poiché il 16 giugno, cedendo improvvisamente la diga glaciale, quella ingente massa di acqua

si precipitò nella valle, devastando tutto quello che incontrò nel suo cammino. In 20 minuti l'intiero bacino, che conteneva circa 5 milioni di metri cubi di acqua, era vuotato.

Anche le morene possono, sbarrando una valle, originare un lago; e ne sono esempi: il lago di Aachen nel Tirolo settentrionale, e quelli di Azeglio e di Caluso nel Canavese. Torneremo sull'argomento quando diremo dei laghi.

I ghiacci polari. — Ai poli ed in prossimità di essi, il fenomeno glaciale acquista una estensione veramente meravigliosa. Può dirsi che sulle terre polari si estende

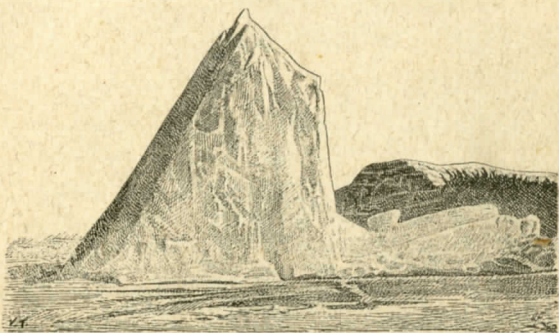



Fig. 37. — Montagna di ghiaccio od *iceberg* alta 25 metri, presso la costa occidentale della Groenlandia (da una fotografia dello Steenstrup).

un ampio mantello di ghiaccio, da cui scendono nelle vallate principali dei ghiacciai immensi per spessore e per larghezza; ed anche sul mare il ghiaccio spinge il suo dominio, sia venendovi dalla terra, sia per congelazione della superficie dell'oceano stesso. Ognuno ha sentito parlare di quelle colossali montagne di ghiaccio galleggiante, in cui si imbattono i bastimenti diretti verso le regioni polari, ossia degli *iceberg* (fig. 37).

L'estensione dei ghiacci al polo antartico è molto maggiore che all'artico, e ciò per causa della grande preponderanza dell'oceano nell'emisfero australe in confronto con quello boreale. Infatti, per mare, al polo Nord siamo giunti

sino ad 81°. 30',[1] al polo Sud invece appena a 78°. 10'; ivi una muraglia di ghiaccio impedisce al navigante di avanzarsi.

Tranne una stretta striscia di terra lungo le rive, tutto il resto della Groenlandia è coperta di ghiaccio, che spinge innanzi degli immensi ghiacciai, i quali sboccano od in mare direttamente, od in quèlle spaccature della costa che già ricordammo col nome di *fiordi.*

Le fronti dei ghiacciai polari, sieno essi o no Groenlandesi, sono estesissime. Ve ne sono di quelli che hanno una fronte di 20 chilometri di larghezza, con un altezza di

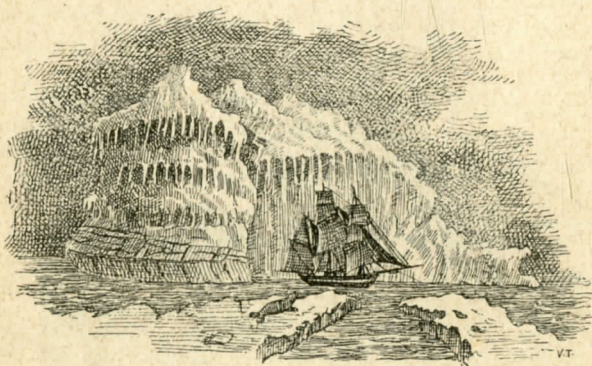



Fig. 38. — Ghiacci galleggianti nell' Oceano polare artico.

60, 80 e più metri. Le morene superficiali in questi ghiacciai o sono piccole o mancano totalmente; poiché, rivestendo il ghiaccio interamente il suolo, non vi sono pendici da cui possano precipitare e sparpagliarsi i materiali. Invece, in causa della grande estensione del letto del ghiacciaio, potrà avere uno sviluppo più notevole la morena di fondo.

Dalla fronte di tali colossali ghiacciai, che spingonsi sino al mare, si staccano, con violenti scoppi, quei grossi massi di ghiaccio, che formano gli *iceberg*, cui le correnti marine trasportano verso il sud (fig. 38). Dicono i marinari,

[1] Già ricordammo che il Nansen si avanzò sul ghiaccio sino a 86°, 14' lat. nord.

a proposito di queste montagne di ghiaccio, che *i ghiacciai figliano*. Queste montagne, alte talora anche 100 e piú metri sul livello delle acque, e profonde almeno 7 volte tanto, si volle fossero uno dei potenti agenti di disseminazione dei detriti sul fondo marino. Anzi (già lo ricordammo) il banco di Terranova, sarebbesi, secondo alcuni, formato per il materiale che gli iceberg lasciano precipitare, sciogliendosi al contatto colla calda corrente del Golfo. Ma abbiamo già visto che i ghiacciai polari, da cui gli iceberg provengono, non contengono che pochissimo materiale detritico, né sono quindi capaci di produrre un effetto cosí potente.

Lo producono invece i *ghiacci costieri*, che si formano pel congelarsi dell'acqua marina in prossimità delle coste, impigliando i ciottoli ed altri detriti del fondo, che trasportano con sé, quando le tempeste li staccano dalle coste, e li abbandonano in balía delle correnti.

Per spiegare il grande spessore del ghiaccio nella Groenlandia, considerando che la precipitazione atmosferica ivi non è tale da giustificare quella ingente accumulazione di acqua solida, alcuni autori hanno pensato che essa potrebbe ben essere il resto di una accumulazione glaciale, prodottasi in epoca anteriore alla nostra, in condizioni climatiche assai differenti da quelle che attualmente ivi regnano.

Alcuni fatti tenderebbero a confermare ciò. Infatti si osservò nella baia di Kotzebue (N-W dello stretto di Bering) la parte terminale di un ghiacciaio coperto da uno strato di argilla dello spessore di 1 a 7 metri, in cui si rinvennero ossa di elefante, di renna, di bue muschiato. Sopra estendevasi la torba, e sopra questa una vegetazione piuttosto ricca di piante polari. L'osservazione stessa fu fatta in varii altri luoghi; talché l'idea che il ghiaccio della grande callotta della Groenlandia sia *fossile*, ossia formatosi per la maggior parte in epoca alla nostra anteriore, non ripugna alla mente.

Ghiacci lacustri e fluviali. — Nei laghi d'acqua dolce, essendo la massima densità dell'acqua a $+ 4^o$, man mano che diminuisce la

temperatura degli strati superficiali verso questo limite, questi strati cadono al fondo, ed ivi si stabilisce appunto la temperatura di + 4°; seguitando il raffreddamento, gli strati superficiali, essendo diventati più leggeri, non cadono più al fondo, e la loro temperatura si abbassa anche a 0° e sotto zero, e l'acqua gela, impigliando, presso le sponde, i ciottoli ed i detriti del fondo.

Lo stesso accade nei fiumi, con questo però, che, se l'acqua è molto limpida, il congelamento può anche cominciare dal fondo (per l'intenso irraggiamento dei lisci e brillanti ciottoli del fondo nelle limpide e fredde notti invernali), ed i ghiacci risalgono a galla portando con sé, in direzione della corrente, una grande quantità di detriti strappati al fondo stesso, spesso abbastanza voluminosi.

Talora i ghiacci dei fiumi si accumulano, per causa di qualche ostacolo trovato nel corso del fiume, e formano delle dighe di ghiaccio, che impediscono al fiume l'ulteriore cammino e lo obbligano a straripare. Il Po ghiacciò nell'inverno del 1883, in quello del 1441 e anche in parte nel 1895, come riferisce l'ISSEL; ma non mai però producendo quei disastri frequenti nei fiumi delle regioni di latitudine più elevata.

In Siberia è tale la potenza del freddo, che, fatta eccezione per i fiumi molto profondi, come l'Obi, l'Ienissei, la Lena, tutti gli altri sono d'inverno completamente trasformati in ghiaccio.

Al sopravvenire della primavera, essendo le sorgenti in generale a latitudini più basse, comincia ivi il disgelo, e le acque, così formatesi, trovando sbarrato il cammino dal ghiaccio che ancora esiste, formano violentissimi rigurgiti e sono costrette a straripare, nè è raro che si scavino anche un nuovo letto.

LE SORGENTI E LE ACQUE SOTTERRANEE

Non è certamente in ghiacciai che si trasforma tutta l'acqua che proviene dalle nuvole: ma una grandissima parte di essa scorre in torrenti sulla superficie del suolo; una parte si introduce nell' interno di questo per tornare poi alla luce in uno od in altro modo, ed un'altra parte concorre indubbiamente al gran lavorio chimico che si effettua alla superficie e nell'interno degli strati terrestri, e di cui dovremo dire in seguito. Da queste acque che tornano alla luce formando le sorgenti, dai ghiacciai che si squagliano, dalle acque torrenziali stesse hanno origine ed alimento i fiumi.

Acque d'infiltrazione e sorgenti. — L'acqua che cade alla superficie del suolo e sopra ad esso scorre, penetra, in parte, attraverso le discontinuità, negli strati sottoposti, sia che il terreno sia *permeabile*, come le roccie a struttura granulosa, quali il grés, la sabbia, le ghiaie, sia che il terreno, anche *impermeabile*, come le argille, conceda il passaggio all'acqua attraverso alle fessure, che non mancano mai in alcuna massa rocciosa.

Tutti i pori delle rocce sono imbevuti di acqua, e ciò è dimostrato chiaramente dall'*acqua di cava*, di cui sono impregnate le roccie da costruzione, come i tufi ed i travertini, al momento in cui si tolgono dalla cava.

Le acque di infiltrazione si accumulano nel suolo; ed, essendo sempre meno soggette alla evaporazione, saturano gli strati più o meno profondi della terra, e formano cosí dei veri *strati acquiferi*, dai quali si origina una *sorgente*, ogni volta che tali strati giungano ad affiorare ad un avvallamento del suolo.

In generale si può dire che il getto delle sorgenti varia col variare dell' abbondanza delle pioggie. Dopo grandi pioggie, le sorgenti aumentano notevolmente il loro getto, ma il loro aumento si verifica anche dopo la piú piccola caduta di vapori atmosferici. Per altro le sorgenti che hanno acque provenienti da località molto profonde, od hanno lungo corso sotterraneo, risentono molto meno l'influenza esterna e presentano una notevole regolarità nel getto.

Fra le sorgenti, le più sorprendenti sono le *intermittenti*, ossia quelle che danno getto abbondante, seguito da intervalli in cui non versano goccia d'acqua. La spiegazione che si vuol dare di questo fatto si è che il serbatoio interno comunichi coll' esterno per mezzo di un condotto a sifone; il sifone agirebbe quando il serbatoio è riempito sino all' altezza massima del condotto, scaricando rapidamente all' esterno l'acqua del serbatoio, il quale richiede poi, per riempirsi, un dato tempo, ossia proprio l'intervallo di tempo in cui la sorgente non ha getto.

Se l'acqua di infiltrazione si trova compresa fra due

strati impermeabili in un bacino foggiato a conca (fig. 39), essa è, al centro del bacino, potentemente premuta; e se ivi si trovano delle fessure, che giungano sino alla superficie del suolo, è costretta a risalire per queste fessure e zampillare alla superficie, formando talora anche un getto di qualche metro (pel principio del livello dei liquidi nei vasi comunicanti) quando l'orifizio della sorgente sia ad un livello inferiore a quello delle testate dello strato acquifero. Queste *sorgenti risalienti* possono ottenersi anche artificialmente; si chiamano allora *pozzi artesiani* o *modenesi*. Cosí abbiamo pozzi artesiani nel Modenese, fra l'Enza e la Parma.

A Châtagna nel Giura si ha un getto naturale di acqua alto dai 3 ai 4 metri; e sono sorgenti risalienti le fon-

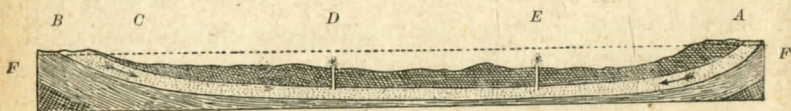



Fig. 39. — Sezione ideale che spiega le condizioni necessarie per avere sorgenti risalienti o pozzi artesiani.

A, Strato permeabile. - *B* e *C*, Strati impermeabili. - *F*, Altezza del livello dell' acqua nello strato poroso *A*. - *D*, *E*, Fontane zampillanti.

tane di Moïse in un'oasi non lungi dall'istmo di Suez, che si sono elevate attorno dei coni sabbiosi e fangosi. Nei deserti dell'Egitto e dell'Algeria, sin da antichissimo tempo, i nativi scavavano pozzi da cui slanciavansi colonne di acqua; cosí pure si sono scavati quei famosi pozzi artesiani o modenesi, di cui sopra ho detto, che raggiungono considerevoli profondità; e fra questi è celebre quello di Grenelle, profondo 548 metri, di cui le acque si inalzano a piú di 30 metri sul livello del suolo, con una temperatura di + 28°. La sorgente artesiana, come narra il Reclus, di Neusalzwerk, presso Minden, proviene dalla profondità di 730 metri.

Sarebbe forse qui il luogo di dire delle sorgenti termali e minerali; ma queste sono, in generale, cosí strettamente collegate coi fenomeni endogeni, che è meglio parlarne quando diremo di tali fenomeni.

Fiumi sotterranei. — Quando le acque, anziché penetrare attraverso a terreni permeabili, penetrano nelle fessure e nelle discontinuità delle roccie, non hanno piú in queste un andamento regolare. Sono frequenti negli altipiani certi avvallamenti imbutiformi piú o meno grandi, sul cui fondo si trova spesso l'apertura di un canale che immette nell'interno del suolo; spesso tali canali sono otturati da detriti accumulati, ma le correnti di aria che sfuggono attraverso a questi attestano la presenza del condotto. Tali imbuti sono da noi chiamati *foibe* o *doline*. Si chiamano invece *sprugole* delle cavità aperte nel calcare, in parte ripiene di detriti, comuni in prossimità del golfo di Spezia. Anche le *voragini*, di cui sono celebri quelle di Argostoli nell'isola di Cefalonia, sono cavità entro cui si inabissano le acque.

Nelle interne spaccature delle roccie, di continuo allargate per la incessante corrosione operata dalle acque, scorrono quelle raccoltesi dalla superficie, e si formano veri fiumi sotterranei, che non si rendono manifesti che allorquando escono all'esterno sotto forma di poderose sorgenti, da cui hanno principio dei veri e grandi fiumi, che scorrono liberamente sulla superficie del suolo.

Celebre fra tutte è la sorgente di Valchiusa che sfugge da una grotta calcarea, celebre perché il Petrarca l'ha cantata nelle sue immortali poesie. Il fiume Latte, presso Varenna, esce da una caverna sopra il lago di Como. Comunissimi poi sono tali fiumi sotterranei in Dalmazia, nelle Alpi orientali, nel Montenegro.

Non è da meravigliarsi del resto se nelle viscere della terra circolano fiumi; poiché gli esempi ne sono frequenti e notissimi. Cosí l'Aros scomparisce sotto una montagna dei Pirenei, e, dopo averla attraversata tutta, torna a comparire sul versante opposto; il Rodano passa sotto a parte della catena del Giura; il torrente che esce dalla Valgana si precipita in una caverna, per ricomparire da altro lato attraverso una vasta apertura, senza però uscire dalla grotta, e riapparire in ultimo ad un livello inferiore, d'onde scorre all'aperto fino al lago di Como.

Ma i fiumi sotterranei sono piccola cosa in confronto ai laghi, e vastissimi, che le viscere del suolo racchiudono. Cosí la colossale caverna del Mammut nel Kentucky presenta un lago, il *Mar Morto* (è cosí chiamato), estesissimo. I fiumi sotterranei sono soggetti a piene spesso ingenti; cosí nella caverna di Trebisch presso Trieste si hanno piene che giungono sino a 110 metri di elevazione.

Di fiumi sotterranei ve ne sono anche che sboccano sotto il mare. Cosi uno sgorga a S. Remo alla profondità di 291 metri; altro ne sbocca alla Spezia, e dà un getto cosí potente di acqua, che l'acqua dolce, giungendo alla superficie del mare, vi forma un rilievo sensibilissimo. Sulle coste dell'Algeria, dell'Istria, della Dalmazia si hanno pure numerosi esempi di fiumi sotterranei.

Grotte e caverne. — Si capisce che le acque, cosí per la loro proprietà erosiva, come per l'acido carbonico che possono contenere, facilmente allargano le fessure attraverso alle quali si sono fatta la strada, formando quelle ampie cavità che sono le *grotte* e le *caverne,* cosí pittoresche coi loro colonnati e coi loro drappeggiamenti di stalattiti e con le stalammiti sorgenti dal suolo.

Fra queste caverne la piú sorprendente è quella del Mammut, sopra ricordata, che, colle sue diramazioni, ha uno sviluppo di piú che 350 chilometri.

Il suolo delle caverne è un prezioso ossario che spesso ci mostra resti di animali, ora del tutto od in gran parte scomparsi dalla superficie della terra, e spesso anche resti umani e dell'industria umana.

Abbondano le caverne nella Carniola e nell'Istria, e ricordo quella rinomatissima di Adelsberg, in cui si notano bellissimi gruppi stalattitici, specialmente nella sala del Calvario, alta ben 200 metri. Anche in Italia se ne hanno, come quelle di Vallimagna in quel di Bergamo, e quella di Monsummano presso Pescia in Toscana. Quest'ultima è rinomata anche per le acque calde che vi si trovano, e per l'elevata temperatura di alcuni suoi meandri.

Fra quelle della Vallimagna vanno ricordate: la grotta della Cornabusa, ridotta a santuario, la caverna del Dáina, notevole per le bellissime stalattiti e stalagmiti cilindriche, simili, dice lo Stoppani, ad un bosco di ceri di tutte le grossezze e di tutte le lunghezze, la tomba dei Pollacchi, nella parte superiore della quale si nota una serie di cavità imbutiformi, di larghezza e profondità diverse, da cui l'acqua piovana penetra nella grotta.

Ricordiamo anche la buca del Corno, presso Trescorre nel Bergamasco, e la grotta dei Pipistrelli, presso Matera, nella quale furono trovati abbondanti resti dell'industria dell'uomo preistorico.

Scoscendimenti e frane. — Quando strati screpolati si appoggiano sovra terreni impermeabili, in seguito alla pressione che su questi esercitano le acque per trovare un uscita, lo strato impermeabile si trasforma in un fango liquido, talché non è più atto a sostenere il peso degli strati sovrapposti, i quali debbono cadere originando uno *scoscendimento.*

Lo stesso accade se gli strati s'appoggiano sovra un sottosuolo facilmente erosibile, oppure se sono costituiti essi stessi da materiali poco coerenti; talché gli scoscendimenti possono essere di due sorta, ossia: scoscendimento dei terreni solidi e scoscendimento dei terreni sciolti.

Si ha il primo caso, quando l'acqua imbeve uno strato permeabile cui sovrasta uno strato solido non permeabile; si ha il secondo caso quando l'acqua imbeve una massa di materiali permeabili, essendo stata costretta ad arrestarsi contro una superficie interna non permeabile.

Fra le catastrofi prodotte da tali fenomeni, ricordo quella di Rossberg, avvenuta nel 1806 in Svizzera. Questa montagna, formata da conglomerati riposanti sopra strati di argilla, in seguito ad una stagione piovosissima, improvvisamente cominciò in parte a scorrere, franando al piano, distruggendo tre villaggi, con la morte di 450 persone. La frana era lunga 1500 m. e larga 320 m.

La notte dell'11 febbraio 1771, una frana caduta dal monte Spitz chiudeva il corso del Cordevole e si formava il lago di Alleghe. Questo lago, lungo in origine circa 5 chilometri, è ora invaso a poco a poco dai materiali che vi trasporta il fiume, e sarà presto colmato.

Il 22 dicembre 1896 una frana precipitava a S. Anna a Pelago nell'appennino Modenese. Altre frane disastrosamente memorabili

sono quelle di Bracca in val Serina (13 settembre 1888), di Monteterzi in quel di Volterra (11 gennaio 1887), di Castel Frentano (Abruzzo) nel 1882.

Una frana del 15 ottobre 1896 in val Serina formava il lago di Ambria.

Dante, nella sua Divina Commedia, ricorda la frana degli Slavini di Marco:

> « Qual' è quella ruina che nel fianco
> Di qua da Trento l'Adige percosse
> O per tremuoto o per sostegno manco,
>
> Che da cima del monte, onde si mosse,
> Al piano è sí la roccia discoscesa,
> Ch' alcuna via darebbe a chi su fosse .... »

La corrosione delle acque nelle grotte diminuisce la loro facoltà di resistenza alla pressione degli strati sovrapposti, talchè le volte franano producendo degli sprofondamenti.

L'importanza di questi fenomeni come agenti modificatori della terra non ha bisogno di essere maggiormente chiarita.

LE ACQUE SELVAGGE, I TORRENTI, I FIUMI

Acque di scolo ed acque selvagge. — Tutte le acque piovane che non penetrano nel suolo e tendono a riunirsi nelle linee di depressione costituiscono le *acque di scolo.* Quanto minore sarà la permeabilità del suolo, tanto maggiore sarà la proporzione delle acque di scolo. Esse, ad ogni succedersi di pioggia, scorrono sulle pendici ed asportano fanghi e ciottoli che si raccolgono nel bacino di ricevimento, procedendo irregolarmente, ora in una ora in altra direzione, qua scavando un solco, là depositando del materiale, piegandosi tortuosamente a seconda delle accidentalità della superficie, non obbedendo ad altra legge che a quella della gravità, talché ben propriamente spetta loro il nome di *acque selvagge.* La loro azione erosiva è in molti casi considerevolissima; cosí, scorrendo sopra rocce formate da ciottoli e terra, asportano la terra all'intorno del ciottolo, lasciandolo a poco a poco isolato sopra un pi-

lastro di terra; come è il caso per le piramidi di erosione di Ritten presso Bolzano nel Trentino, e per quelle anco piú belle del bacino di Rio Grande al Colorado; oppure corrodono le rocce, associandosi all'azione dell'atmosfera, ed, asportandone le parti meno resistenti, formano pilastri di forma svariata (fig. 40).

Nè è da trascurarsi la loro azione chimica, che si esercita sciogliendo i materiali solubili, incavando e scavando addirittura le roccie, specialmente se calcaree (fig. 41). Un bell' esempio della corrosione operata dall' acqua e dall' atmosfera ci è offerto dalla *Pania Forata* o Monte Forato, che fa parte di quella specie di cortina o muraglione montagnoso, chiamato le Panie, tra cui torreggia la Pania alla Croce, che chiude la valle della Versilia nelle Alpi Apuane. La Pania forata ha l'aspetto di un monte a due corna, e fra i due corni si trova una apertura, come una gran caverna quasi ovale, che attraversa la montagna da parte a parte.

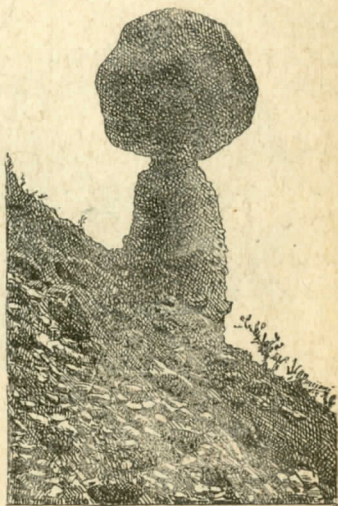



Fig. 40. — Fungo di Piana Crixia in Liguria. Conglomerato miocenico roso dalle intemperie e dalle acque selvagge.

Un altro foro simile si ha nelle Alpi, tra la valle della Linth e quella del Reno, ed è chiamato il *pertugio di Martino*.

E merita menzione anche la caverna che attraversa il monte Torghatten sulle coste della Norvegia.

Torrenti. — Riunendosi le acque selvaggie nei burroni e nei botri, concorrono poi a formare il *torrente*, le cui caratteristiche sono: la temporaneità del corso, la pendenza non piccola del letto, la notevole velocità e la grande potenza erosiva. Nel letto del torrente raccolgonsi adunque tutte le acque cadute sulle pendici circostanti, ed esso è per solito

una gora assai stretta con pareti dirute, in cui, in seguito ad un temporale, l'acqua si accumula con rapidità spaventevole e con notevole volume. Si intende quanto grande debba essere l'azione di una tale massa di acqua, unita a quella dei materiali che seco trasporta, spesso in tal quantità da aver l'aspetto di una massa solida pastosa; tanto più che il canale è una successione di cascate e di

Fig. 41. — Monte Forato nelle Alpi Apuane (provincia di Lucca) visto dalla parte di Petrosciana. Esempio di corrosione nei calcari.

ripetute curve, condizioni che agevolano l'azione erosiva delle acque torrenziali.

Passando poi in una valle più ampia ed a pendio più dolce, o sboccando in un lago, il torrente diminuisce di

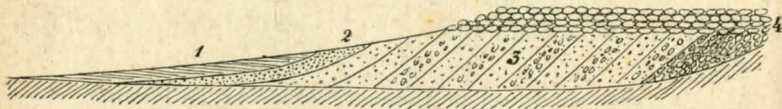



Fig. 42. — Sezione di un delta torrenziale. - 1. Argille. - 2. Sabbie fini. 3. Sabbie e ghiaie. - 4. Ciottoli (dal De-Lapparent).

velocità, ed abbandona una gran parte dei materiali che trasportava, disponendoli in forma di cono, detto *cono di deiezione,* o meglio *deposito di espandimento.* Quando il torrente sbocca in un lago, il deposito che si forma alla sua foce è più propriamente chiamato *delta torrenziale* (fig. 42).

Il continuo afflusso di materiali nel lago può produrne il graduale interramento, ed anche uno spostamento delle rive. I laghi di Thun e di Brienz (Berna) erano una volta riuniti in un solo bacino; ora la Lütschine ha spinto un enorme cumulo di materiali in quelle acque formando, tra un lago e l'altro, un istmo: l'Interlaken.

Anche i fiumi operano spesso nello stesso modo: cosí il piano di Colico, tra il lago di Como e quello di Mezzola, è dovuto ad un interramento operato dall'Adda.

Coll'andare del tempo il torrente giunge ad una fase di relativa stabilità, in cui non scava piú il suo letto, né trasporta quantità notevole di materiali, e ciò per causa della diminuita pendenza.

I fianchi del bacino di ricevimento rivestiti di vegetazione attenuano la quantità di acqua di scorrimento, poiché una gran parte ne viene consumata dalle piante in lavoro vitale, e le radici, tenendo unito il terreno, impediscono all'acqua che scorre di trasportarne agevolmente i materiali.

I torrenti distinguonsi in *perenni* e *temporanei:* i primi provengono dai bacini ove si trovano nevi perenni.

Abbiamo già ricordato le *caldaie dei giganti* formatesi per opera dei ghiacciai. A simili cavità danno origine anche i torrenti coi vortici che formano; e se ne hanno numerosi esempi nella valle della Stura, in alcune valli Svizzere, in Francia, ecc. Esse sono profonde al piú un metro e venti centimetri e larghe fino anche un metro.

Origine delle valli. — Siccome l'azione erosiva è opera principale dei torrenti e dei fiumi torrenziali, e siccome in strettissimo rapporto con i fenomeni dell'erosione operata dai torrenti e dai fiumi è l'origine delle valli, cosí qui si deve parlare delle valli.

Al ripiegarsi degli strati terrestri sono dovute, come vedremo, le montagne: questi strati, da prima orizzontali o leggermente inclinati, in seguito a fenomeni di cui piú avanti studieremo la natura, si contorcono, si piegano, ed originano curve concave e convesse; le prime si chiamano

sinclinali, le seconde *anticlinali*. Sappiamo che chiamansi *valli* le depressioni che si osservano tra i rilievi orografici, nelle quali le acque correnti si raccolgono nei punti piú bassi, tendendo continuamente a diminuirne il dislivello ed a preparare la *linea di impluvio* o *thalweg*. Ora, le acque scorrenti lungo il pendío dovrebbero naturalmente seguire la pendenza massima ed andare dalla vetta al piede, tagliando trasversalmente gli strati, ed originando le *valli trasversali*. E cosí accade in molti casi; ma non sempre: poiché i corsi d'acqua possono seguire anche la direzione longitudinale delle montagne, originando valli *longitudinali*, che per altro non sempre richiamano la loro origine dall'azione erosiva delle acque.

Queste ultime valli sono assai piú estese delle prime, hanno pendío piú dolce e sono piú ricche di acque. Le valli del Tevere e del Lavagna sono longitudinali, mentre quella del Piave è trasversale; e sono valli miste, ossia in certi tratti longitudinali ed in altri trasversali, quelle dell'Adda, dell'Adige e di varii altri fiumi.

È certo che l'origine delle valli è in intimo rapporto con la struttura delle montagne; ma non è men vero che il fenomeno di erosione vi concorre in grandissima parte.

Alcuni autori ammettono che i corsi dei fiumi sieno piú antichi delle montagne, preesistenti cioè al sollevamento delle montagne, opinando che, mentre queste si sollevavano, le acque operassero la loro erosione, e che, come conseguenza di questa, siane venuto il corso attuale dei fiumi. La teoria però non va presa in modo assoluto. Nessun dubbio vi ha che, essendo lentissimo il movimento di sollevamento delle masse montuose, l'azione erosiva delle acque esercitatasi per secoli e secoli possa avere scavato negli strati solchi profondi, che, allargandosi man mano, sempre per opera dell'erosione, formarono delle valli. Ciò è possibile per le valli trasversali, è possibile anche per quelle valli che tagliano un anticlinale nel senso della sua lunghezza; ma non è applicabile al caso di tutte le valli longitudinali, ed in particolar modo a quelle che seguono i

sinclinali, come è il caso delle valli sinclinali del Giura, le quali ripetono la loro origine dai fatti stessi che hanno originato le ampie pieghe che formano quella catena, e che non a torto possono dirsi *valli orogeniche* o *di ripiegamento.*

Le valli anticlinali possono essere dovute ad una frattura formatasi per il rompersi degli strati in senso longitudinale; esse sarebbero poi state ampliate per opera dell'erosione; furono perciò chiamate *valli di frattura.* Ma il nome non sempre è esatto; ché l'Heim dimostra che moltissime valli di anticlinali non presentano traccia alcuna di frattura, e che in molti sinclinali, in cui si sarebbe dovuto trovare una valle, si sono formate creste montuose per opera della erosione. Le fratture certamente non possono negarsi, e pare che, senza escludere che l'inalzamento e la struttura delle montagne abbia avuto una azione non indifferente sulla formazione delle valli, si debba anche d'altra parte dare al fenomeno di erosione operata dalle acque una importanza molto maggiore di quella che gli si è data sino ad ora; né pare assurda la conclusione che il corso del fiume, in moltissimi casi, preesistesse all'origine delle montagne lungo le quali scorre o che attraversa.

E giacché di valli e di montagne si parla, due parole sui *colli,* o *valichi*, o *passi*, come si vogliono dire. Essi sono per solito situati a cavallo di due valli trasversali, e si possono considerare come valli elevate, e con le valli hanno comune l'origine.

I fiumi. — Se i torrenti hanno una potenza modificatrice notevolissima, non meno notevole è quella dei fiumi, che si possono dire il mezzo per cui le acque, sieno di sorgente o di scolo, corrono al mare od ai laghi.

Affinché un fiume si formi è necessario che il suolo possegga una pendenza sufficiente per permettere alle acque di raccogliersi in un thalweg. È per questo che le *pampas* dell'Argentina, ove piove abbondantemente, non hanno fiumi che ivi si formino, ma stagni, ed i grandi fiumi che l'attraversano non ricevono dalle pampas neppure un affluente.

Dalle alte montagne in generale, su cui cadono abbondanti le nevi e le piogge, si formano appunto i maggiori fiumi; alcuni fiumi però non nascono in un monte, come il Danubio e il Volga. Ma errore grossolano sarebbe, colle nozioni che si hanno oggi, credere che si possano stabilire matematicamente *le linee di sparti-acqua,* e segnarle negli atlanti, come prima si faceva, come grandi linee di rilievo nel mezzo dei continenti. Del resto la linea di separazione tra due bacini idrografici, può essere tagliata da brecce che li fa comunicar tra loro. È tanto celebre l'unione dell'Orenoco, pel Cassiquiare, col Rio Negro affluente dell'Amazzoni, che quasi non metterebbe conto ricordarla.

Ma l'esempio non é isolato, e si ripete in Europa ed anche in Italia. Rammento la biforcazione dell'Arno, nota in tempi storici. È certo, che al principio del Medio Evo, l'Arno era diviso in due rami: l'uno diretto al mare, l'altro che traversava la Val di Chiana per versarsi nella Paglia, affluente del Tevere. In seguito, per l'approfondirsi del letto settentrionale, l'Arno cessò di scorrere in Val di Chiana; e vi scomparve completamente, quando lavori idraulici disseccarono gli stagni che ne erano ultima e perniciosa testimonianza.

La largezza del letto di un fiume è molto maggiore alla foce che nel resto del corso; cosí l'Amazzoni è alla foce largo ben 288 chilometri, mentre è appena 3 chilometri verso le sorgenti.

La prima parte del corso di un fiume si sviluppa generalmente nelle regioni montuose, ed è caratterizzata dal succedersi di rapide e di cascate dovute alla disuguaglianza del letto. Nel suo corso superiore il fiume è un vero torrente, e come torrente agisce, logorando le sponde e trasportando materiali. Nel corso medio la pendenza è assai minore, benché il fiume possa presentare ancora cateratte e rapide; incomincia poi il corso inferiore nella pianura, ove si ha piccolissima pendenza e velocità molto diminuita. Nel corso inferiore, i materiali trasportati si riducono a sabbie e fanghi.

Il fiume adunque erode da prima, deposita poi i materiali più grossi, e trasporta sino alla foce i più leggeri; dando origine così a tre fasi di attività: cioè *periodo di erosione, periodo di alluvione o di deiezione*, *periodo di deltazione.*

Il lavoro di un fiume non è per altro sempre uguale; è quasi nullo nell'epoca di *magra* in cui scarseggia di acqua, è invece attivissimo nelle *piene;* e con questa condizione è in relazione il fatto che ogni fiume presenta un *letto maggiore*, in cui si estende durante le piene, ed uno *minore*, che occupa solo nelle magre.

Causa principale delle piene dei fiumi è l'abbondanza delle pioggie; e quindi appunto nella stagione piovosa esse si producono. Son celebri, e sin da antico ricordate, le piene del Nilo, che costituiscono la ricchezza dell'Egitto, dovute alle abbondanti pioggie dell'Etiopia e di altre contrade dell'Affrica equatoriale.

Gli effetti geologici delle piene sono potenti, in particolar modo sulle sponde stesse del fiume. Così l'Amazzoni quando, l'8 luglio, abbassa le sue acque, che hanno invaso prima ampi tratti all'intorno, rode le sponde e strascina con sè ingenti ammassi di vegetali, che su quelle sponde crescevano rigogliosi.

I grandi ammassi di legnami fluitati non sono rari; e ricordo la grande zattera del fiume Rosso (Red River) tributario del Mississippi, che nel 1833 era lunga ben 200 kilom.

I fiumi, oltre alle piene regolari sopra accennate, e che hanno luogo in certe stagioni dell'anno, possono, per straordinarie precipitazioni di piogge, originare piene straordinarie, le quali, perché improvvise ed inaspettate, sono in generale assai disastrose.

Sulle piene influisce l'improvvido diboscamento delle pendici; ed è pure da notarsi che il sistema di arginatura attorno al letto minore è più che altro dannoso; poiché, restringendo in quel letto le acque delle piene, fa sì che i materiali che vi si depositano ne sollevino mano mano

il fondo; il Po, ad esempio, a Borgoforte, tra Mantova e Modena, dal secolo XV ad oggi, ha inalzato il suo letto di piú che cinque metri e mezzo.

Azione erosiva dei fiumi. — La potenza dinamica di un fiume dipende dalla sua *velocità* e dalla sua *portata*; e la velocità è alla sua volta in rapporto colla pendenza del letto e con la massa delle acque. Si può dire che facilmente l'acqua scorre anche su deboli pendenze; cosí il Po da Chivasso a Piacenza ha una pendenza media di 1 per 1000, e da Piacenza al mare di 1 per 2000; il Mississippi, verso la foce ha una pendenza di 1 per 10000. Una pendenza di 2 per 1000 fa sí che il fiume divenga torrenziale. Per effetto dell'attrito esercitato dalle rive, dal fondo e dall'aria, la velocità è massima a poca distanza dalla superficie, ed in corrispondenza della maggiore profondità (*filone* del fiume).

Quanto alla *portata*, ossia alla massa di acqua che passa per una data sezione in un minuto secondo, essa è varia, e la vera portata risulta dalla media tra le portate di piena e quelle di magra. Il Danubio ha una portata superiore ai 9000 m³, il San Lorenzo piú che 10000, 17000 il Mississippi, il Po 1720 m³.

La differenza tra la portata di magra e quella di piena è in alcuni fiumi piccola, cosí nella Somma (Francia) e nei fiumi il cui corso è regolato da un lago che essi attraversano; in altri invece è grande: cosí pel Po (magra 214 m³, piena 5149 m³), per l'Arno ed un poco anche pel Tevere.

Coll'aumentata portata e velocità, aumenta anche la potenza di trasporto dei materiali. Cosí mentre, con una velocità di $0^m,15$ al secondo, non si può avere che il trasporto di fanghi, con velocità di $0^m,20$ sono trasportate sabbie, di $0^m,70$ ghiaie, di $1^m,20$ ciottoli grossi. Con la diminuzione della velocità verso la foce è in rapporto una diminuzione nel trasporto. L'Arno trasporta ciottoli nel suo corso superiore, ghiaiette a Firenze, sabbie a Pisa ed a Bocca d'Arno; il Po porta ghiaia solo fino a Piacenza, piú oltre sabbie e fanghiglie.

Tutti i fiumi, nella prima parte del loro corso, esercitano attivamente la loro azione erosiva; ma quelli che maggiormente ci manifestano la potenza di tale azione sono quei fiumi che ancora scavano il loro letto, che hanno notevole pendenza, che sono principalmente alimentati da acque di torrenti, ed a cui spetta propriamente il nome di *fiumi torrenziali* (Es. Trebbia). Esempi di azione erosiva dovuta ad acque di fiumi torrenziali sono rappresentati

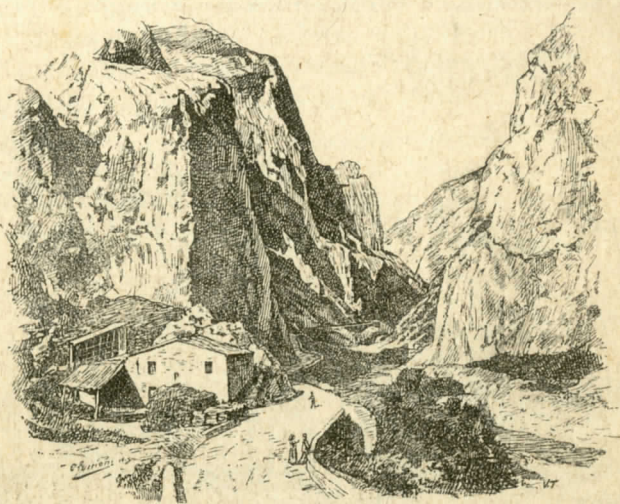



Fig. 43. — Passo del Furlo nell'Appennino centrale.
Esempio di una valle formata dalle acque torrenziali.

dalle figure 43 e 44. Ma soprattutto nelle montagne Rocciose il fenomeno si manifesta con una grandiosa imponenza. Ivi le acque dei fiumi torrenziali hanno scavato profondissime *forre*, note col nome di *cañones*, con pareti verticali o quasi, alte da 1000 a 1800 metri. Fra questi è celebre il Gran Cañon del Colorado, scavato in roccie poco resistenti, disposte in strati quasi orizzontali. Anche il Danubio, traversando il Giura Svevo e Franconico, vi ha formato profonde forre.

In Italia si hanno casi simili, benché in proporzioni molto più modeste. Cosí le *Grave* o *Gravine* delle Puglie altro non sono che

profonde spaccature del suolo, in cui scorre un torrente. Il Simeto in Sicilia, sbarrato nel 1603 da una corrente di lava dell'Etna, vi ha, in due secoli, scavato una gola profonda dai 20 ai 25 metri e larga da 12 a 18. A chi percorra le valli d'Arni e di Terrinca nelle Alpi Apuane si presenteranno i fianchi delle montagne intaccati da profonde escavazioni che sono percorse da torrenti, le cui acque scompaiono d'un tratto in mezzo e sotto lo sfasciame di massi calcarei, che, staccati dai monti, hanno in gran parte colmato la valle. Sotto a questo sfasciame, i torrenti si riuniscono, ed al paesello, detto Isola Santa, da una voragine sbocca il Torrite, torrente che affluisce poi nel Serchio, vicino a Castelnuovo di Garfagnana.

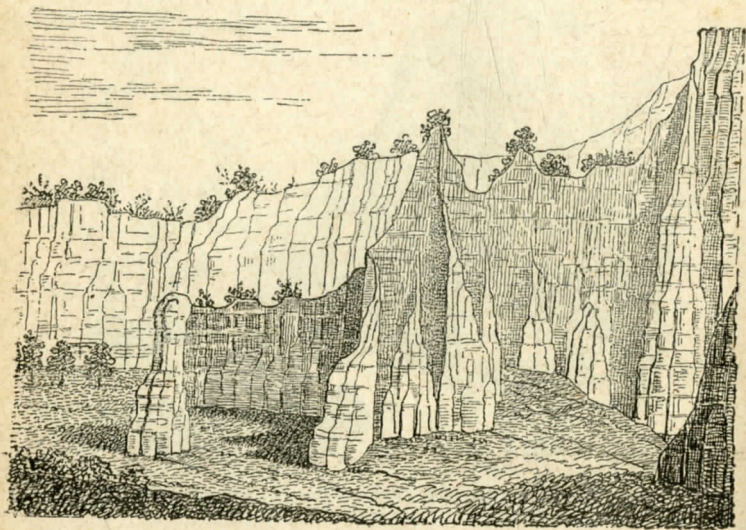



Fig. 44. — Le forre di Persignano in Valdarno superiore.
Esempio di corrosioni nelle sabbie, prodotte da acque correnti.

Rapide e cascate. — Le *rapide* e le *cascate* sono un notevole aiuto alla potenza erosiva di un fiume. È una *rapida* una velocissima corrente sopra ripida pendenza e fra ripide scogliere; essa non è in realtà che il termine di passaggio da una cascata preesistente ad un pendìo più dolce. Una *cascata* invece è dovuta ad un improvviso e vivo dislivello del letto del fiume. Diconsi poi *cateratte* le successive cadute che si presentano in un fiume, quando il letto è foggiato a scalea. In Italia sono celebri le cascate

dell'Aniene presso Tivoli, quella del Velino fra Terni e Rieti, la cascata della Toce nelle Alpi; questa è, per la nostra Italia, una delle piú potenti e delle piú belle. Si precipita da un'altezza di 130 m.; e siccome il terreno del salto non è a picco, ma un poco inclinato e fatto a scala, cosí la cascata si divide in cascatelle, che formano una spettacolo mirabile ed attraente.

Bellissime sono anche le cascate del Serio in Val Serina (Bergamo) di cui la maggiore supera i 160 m. di altezza.

Le acque turbinanti erodono e spezzano le roccie piú dure, tendendo continuamente ad appianare il letto, a trasformarsi in rapide e poi in corsi quieti.

Di cascate ve ne sono in Europa di assai notevoli, oltre a quelle che già ho ricordato in Italia; cosí è celebre quella del Reno a Sciaffusa, il Riskan-fos (cascata muggente) che si precipita all'uscita dal lago di Miösen in Norvegia, da un'altezza di 270 metri.

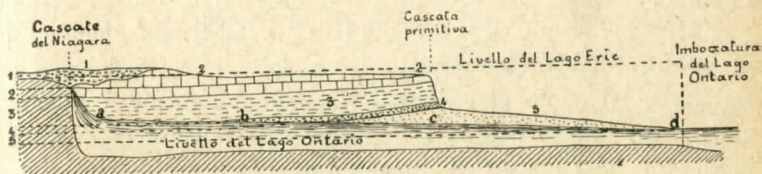



Fig. 45. — La cascata del Niagara. - 1. Terreno glaciale. - 2. Calcare del Niagara. - 3. Schisti. - 4 e 5. Arenaria di Clinton e di Medina. - *a b c*, superficie del corso d'acqua (da Spencer).

Ma la piú celebre di tutte è quella del Niagara, in America, il cui rombo si sente a 20 chilometri di distanza (fig. 45). Il fiume Niagara, uscendo dal lago Erie, scorre sopra un piano calcareo per ben 20 chilometri, ed, urtando contro l'isola della Capra (Goat's Island), si divide in due correnti inclinate sovra ripidissimo pendìo, le quali, arrivate alla linea di dislivello, si precipitano da un'altezza di circa 50 metri, e si incanalano in una gola lunga 11 chilometri e larga da 300 a 450 metri.

Stupende sono anche le cascate del Missourí, e quelle della Colombia; bellissima quella del S. Francisco nel Brasile. Né meno ammirabile è la cascata dello Zambese in Affrica. Questo fiume, prima della cascata, scorre lento e placido, e si divide in due bracci all'isola del Giardino. Tutto ad un tratto queste due masse liquide, l'una larga 1700 m. l'altra 500, s'inabissano in un'ampia fessura profonda 106 metri, e ne sfuggono poi per uno stretto canale.

Anche le rapide presentano in America i loro maggiori esempi. Ricordo quelle celebri dell'Orenoco e quelle del San Lorenzo alla sua uscita dal lago Ontario. In Europa esse sono assai meno importanti; nondimeno non conviene dimenticare le rapide dell'Adda.

Un'influenza notevole nell'azione erosiva dei fiumi è dovuta ai lenti movimenti della superficie della terra; se questa si inalza, la linea di spiaggia si sposta, la terra guadagna sul mare, ed i corsi di acqua vengono allungati; essi acquistano alla foce una pendenza superiore a quella che ivi avevano da prima, il che ingenera un aumento nel potere meccanico della corrente, ossia un aumento di erosione, per effetto della quale il corso di acqua si approfondirà a poco a poco scavandosi canali e forre, come pare sia il caso dei *cañones* del Rio Colorado già ricordati, e della gola in cui scorre il Reno fra Bingen e Coblenza. Anche la valle dell'Elba presenta una forra, qua e là anche terrazzata, che prova come il letto del fiume siasi man mano sprofondato per effetto di un sollevamento del suolo. Se invece il suolo si abbassa, il corso del fiume è raccorciato, ed il mare ingoia i depositi alluviali del medesimo. Anzi se il movimento di sprofondamento è rapido, in modo che le valli sommerse non sieno colmate dai detriti, il mare vi penetra, e si formano golfi lunghi e stretti.

Da quanto già dicemmo è facile desumere che le cascate si ritirano verso le sorgenti; quella del Niagara si trovava in origine alla estremità dell'altipiano che prospetta al lago Ontario, come ben si vede dalla figura. Attualmente, per effetto dell'erosione, la ritirata è in media di 31 centimetri all'anno; ed è facilitata dalle condizioni del suolo, il quale è costituito da strati calcarei che si appoggiano sovra strati marnosi e sabbiosi facilmente erosibili; erosi questi dal polverizzamento continuo dell'acqua della cascata, manca l'appoggio agli strati calcarei, che si spezzano e precipitano nel gorgo.

Alla base delle cascate sono frequenti, come dicemmo, le *caldaie dei giganti*.

Lavoro alluvionale dei fiumi. — I materiali che, durante il periodo di erosione, sono dall' acqua corrente strappati ai montuosi recessi, debbono necessariamente essere trasportati a valle, e, nei luoghi ove la diminuzione della velocità lo permette, vengono depositati. È adunque un lavoro di alluvione che si effettua; e siccome appunto nelle piene il trasporto è maggiore, cosí anche nelle piene, che dilagano all' intorno, saranno deposti i detriti che il fiume ha potuto trasportare. Non tutti però; e vedremo che una non piccola quantità vien trasportata alla foce per formarvi i delta.

Quando, in seguito ad una piena, le acque straripano, la loro velocità si ammortisce bruscamente al momento in cui esse si spandono al disopra delle sponde del letto minore; ne viene che, in prossimità di questo, si depositeranno i materiali piú grossi, mentre piú lungi verranno trasportati i fanghi e le sabbie. Ciò porta come conseguenza l'inalzarsi delle rive del letto minore; ossia il fiume stesso si costruisce degli argini.

Il lavoro alluvionale del Po, coi suoi affluenti, in gran parte torrenziali, è stato cosí ingente, che scavi fatti sino a 180 metri sotto al livello del mare nel bacino padano non hanno messo alla luce che terreno alluvionale. E notiamo che una volta la valle del Po fu occupata dal mare.

Nel mezzo dei fiumi si formano sovente delle *isole di ghiaia* o *di sabbia* che sono veri banchi od *isole di alluvione*, e sono dovute ad ostacoli contro i quali urta la corrente, che viene cosí a diminuire ivi di velocità, ed è costretta a depositare parte dei materiali che trasporta. Quando un fiume è giunto a regolarizzare il suo corso, ad avere cioè acquistata una dolce pendenza, allora non scava piú il fondo del letto né forma depositi permanenti di materiali. Esso tende ad allungare il suo corso, formando ripetute curve o *meandri* nelle alluvioni deposte nel suo letto maggiore; e siccome nelle curve la velocità è maggiore nella parte concava che nella convessa, le rive concave sono attaccate dalla erosione, mentre si deposita materiale nelle convesse,

accentuandosi così sempre più la curva del meandro (fig. 46); talchè nelle forti piene l'acqua prende, bene spesso, la via più breve, abbandonando il meandro e formando un'*isola di corrosione*, circuita dal nuovo letto e dal meandro antico.

Queste *divagazioni* dei fiumi che abbandonano il letto antico e se ne scavano uno nuovo, ed, originando delle rotte negli argini, formano paludi e stagni, oppure si biforcano, sono piuttosto frequenti. La Theiss offre un notevole esempio di fiume divagante.

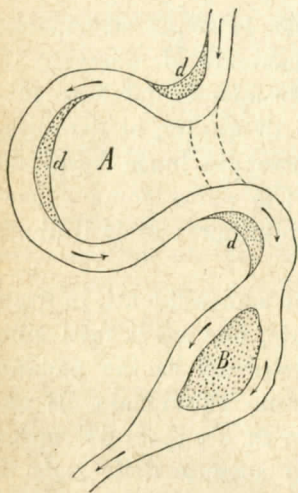



Fig. 46. — Letto di fiume divagante. - *d*, deposito delle rive concave. - *A*, isola di corrosione. - *B*, isola di deiezione - (dall'Issel).

Gli affluenti hanno un'influenza non indifferente sulla direzione del corso di un fiume. Così il Po prima di Torino è spinto verso sud dagli affluenti che gli vengono dalle Alpi; ma poi il Tanaro ha forza sufficiente, scendendo dagli Appennini, per respingerlo a nord. La Theiss stessa, in Ungheria, è respinta di continuo verso l'ovest dai torrenti che vi affluiscono. Ciò per effetto dei materiali deposti agli angoli di confluenza.

Terrazzi fluviali. — Osservando la maggior parte dei nostri fiumi, vediamo che essi scorrono, nella parte superiore e media del loro corso, tra sponde che presentano frequentemente delle gradinate, le quali talora si corrispondono dall'uno e dall'altro lato della riva; a queste gradinate si da il nome di *terrazzi fluviali.* Talora nella valle vi ha un solo terrazzo, tal' altra volta si susseguono più terrazzi. Essi non sono che i resti di antichi fondi di una valle, occupati successivameete dal fiume che vi ha scavato nuovi letti; e questi terrazzi ora sono formati di sedimenti fluviali, ora sono invece scavati nella dura roccia.

Ma se il fiume è il principale agente produttore dei terrazzi, le cause che lo aiutano sono, prima di tutto, i lenti movimenti della superficie della terra, per cui in seguito ad un sollevamento si aumenta la pendenza del corso di un fiume, e quindi anche la sua forza erosiva, che tenderà ad approfondirne il letto originando terrazzi, e poi le variate condizioni di precipitazione, che influiscono sulla portata del fiume.

Sono celebri i terrazzi dell'Adda, quelli dell' Oglio e quelli del Ticino. Caratteristici poi sono i terrazzi dell' Eno (Inn) nelle Alpi: ed in generale si può dire che essi sono molto bene discernibili nelle alte vallate di queste nostre montagne.

Legge di Baer. — Si disse che la rotazione della terra ha influenza anche sulle acque correnti; cioè che *i fiumi che scorrono nell' emisfero boreale nella direzione dei meridiani erodono la sponda destra, la sinistra invece quelli che scorrono secondo i meridiani nell' emisfero australe.* Questo principio, noto col nome di legge di Baer, si riscontra nei grandi fiumi della Siberia, si nota nel Gange che si è spostato di 7 o 8 chilometri verso destra abbandonando la città di Gur, nel Nilo che ha abbandonato il suo antico letto nel deserto di Libia per avvicinarsi alla catena arabica, nel Reno che nei piani dell' Alsazia tende ad allontanarsi dalla base dei Vosgi, per avvicinarsi a quella della Foresta Nera.

Ma il principio di Baer non è in tutti i casi comprovato; e, del resto, anche senza ricorrere alla rotazione della terra, abbiamo già visto che lo spostarsi del letto di un fiume è dovuto principalmente all' azione degli affluenti.

Né è certamente per la rotazione terrestre che molti fiumi talora cambiano letto spostandosi di molti chilometri, come l'Hoang-ho della Cina, che lo ha replicatamente mutato, producendo ogni volta disastri spaventosi.

Ed a far cambiare il letto ad un corso fluviale possono concorrere le *rotte*, che si hanno quando un fiume apre una breccia nella sua riva (in tal modo, si è formato nel

1152 il Po di Venezia), oppure i *rafti*, accumulamenti colossali di legnami fluitati, che possono sbarrare, e deviare quindi, il corso di un fiume.

La formazione dei delta. — Ogni fiume, quando affluisce in mare od in un lago ampio, vi sbocca per una spaccatura della costa, che dicesi *estuario* e che rappresenta il lavoro eseguito dall'acqua durante un passato periodo di erosione.

In quei mari ove si hanno forti maree, i materiali trasportati dal fiume non possono facilmente depositarsi alla sua foce, poiché le maree li trasportano via con grande facilità; e là dove le acque marine si congiungono alle dolci si stabilisce fra le loro forze un equilibrio, per cui i materiali trasportati dal fiume precipitano rapidamente, formando un deposito sul fondo, cui si dà il nome di *barra* o *sbarra*. Essa presenta la convessità verso l'alto mare, ed è soggetta a continui spostamenti, rendendo cosí assai pericolosa la navigazione in tali foci fluviali.

Tutto il materiale che non concorre alla formazione della barra è trasportato via dalle correnti, o si depone sul fondo formando i cosí detti *depositi d'estuario*.

Tra i piú celebrati estuari sono da ricordarsi: quello del S. Lorenzo, quello delle Amazzoni, e principalmente quello del Rio della Plata. Quest'ultimo, in cui sboccano il Paranà e l'Uruguay, non si estende all'entrata per meno di 250 chilometri, con una superficie di 40.000 km.^{2}

Tutto il materiale detritico che si accumula in un estuario, tendendo continuamente a spingere piú verso il mare la foce di un fiume, costituisce il *delta*, cosí chiamato da quello del Nilo, che ha la forma di un delta maiuscolo (Δ).

La forma del delta è diversa a seconda che la forza dell'acqua corrente supera, eguaglia od è inferiore alla forza di marea o di corrente del mare. Nel primo caso i materiali portati dal fiume si possono agevolmente depositare nell'estuario, possono colmarlo, e spingersi anche in

avanti formando un triangolo col vertice a mare: questo sarà un *delta positivo*; nel secondo caso i materiali spinti ai lati formano un interramento piuttosto che un delta; nel terzo caso i detriti spostati dalle maree si depositano ai fianchi dell'estuario riproducendone esattamente la configurazione, e formando un delta cui si dà allora più propriamente il nome di *delta negativo*.

Considerando che la forza della marea è massima negli oceani aperti, minima nei mari interni, si capisce che i delta negativi si formeranno alla foce di quei fiumi che sboccano negli oceani ed i positivi alla foce di quelli che sboccano nei mari interni, od, a più forte ragione, nei laghi (*delta lacustri*); di questi abbiamo un esempio nel piano di Colico.

Classico esempio di delta è quello del Nilo, che può considerarsi come un estuario colmato; esso non può avanzarsi molto in mare, perché una gran parte dei materiali li depone lungo il suo corso nelle sue piene periodiche, e la corrente marina, che lambe le coste egiziane, trasporta con sé una gran parte di quelli che il fiume porta sino alla foce.

Assai più caratteristico è il delta del Po (vedi la fig. 10), che è, tra i fiumi, uno dei maggiori lavoratori del mondo intiero. Dalla foce dell'Adige fino al Po di Volano una catena di dune segna l'antico cordone littorale, ed, oltre ad esso, il Po si è in poco tempo spinto innanzi per ben 25 chilometri, interrando le lagune di Adria, minacciando, con l'unirsi all'Adige, di interrare quelle di Venezia, se non fosse stato deviato con una rotta artificiale. In 2000 anni il delta si è avanzato in media di 17 metri all'anno, ma negli ultimi anni si calcolò che il suo avanzarsi siasi elevato fino a 70 metri all'anno, coadiuvato dal lento movimento del bacino dell'Adriatico. Il Po trasporta, in media, 42.760.000 m³. di materiale all'anno.

In Francia il Rodano è il fiume più attivo nella formazione del delta; il suo braccio principale si avanza, in media, di 59 metri all'anno.

Nel delta positivo i fiumi si dividono in più bracci, frequentemente divaganti.

Bellissimo, per la sua speciale configurazione, è il delta del Mississippi. Esso ha una lunghezza di 500 chilometri, ed una estensione di 32.000 chilometri quadrati. Un ramo principale si avanza in mare dividendosi in tre rami all'estremità a guisa di zampa d'oca, e si allunga ogni anno di quasi 90 metri. Esso è deviato verso est, per causa della corrente del Golfo.

Il delta del Gange offre un bellissimo esempio di quella sorta di delta in cui i lati e la foce del fiume si avanzano uniformemente. Esso principia a 320 chilometri dal mare ed ha una base sviluppata per ben 300 chilometri.

Alcuni fiumi terminano bruscamente al mare senza delta, come il Pescara e quasi tutti i piccoli fiumi che dall'Appennino scendono all'Adriatico. Nei delta sono frequenti le *paludi* e gli *stagni*, che si trovano ovunque il terreno ha cosí piccola pendenza da impedire lo scorrimento delle acque meteoriche.

Le cause che influiscono sulla formazione dei delta sono varie: cosí essi dipendono dalla velocità del fiume; dalla sua portata; dalla presenza di laghi lungo il suo corso, i quali ne arrestano in gran copia i materiali; dalla ripidità della costa; dalla marea; dai movimenti di sollevamento ed abbassamento della spiaggia; dalle oscillazioni del livello del mare.

I laghi e la loro origine. — I laghi non sono che i regolatori dei corsi d'acqua, poiché ne attenuano la velocità e la pendenza, e li spogliano dei materiali sospesi, per cui i fiumi escono limpidi dai laghi, e solo si intorbidano allorquando gli affluenti vi trasportano le loro acque limacciose. È noto l'esempio del Rodano che esce dal lago di Ginevra cosí limpido, da potersene scorgere i sassolini del fondo.

In Geografia si sogliono dividere i laghi in *salati* e *dolci*; ma errerebbe chi credesse in ogni caso che i primi sieno residui di antichi mari, ed i secondi sieno stati originati da afflusso di acque dolci in depressioni della terra; cosí il Gran lago salato dell'Utah non è che il resto di un lago una volta assai piú esteso, e deve la sua salsedine, come già dicemmo, alla grande evaporazione ed alle acque salse che gli portano gli immissari.

Poche parole sull'origine dei laghi sono qui ben a proposito.

Dei *laghi morenici* già abbiamo parlato, né occorre ora tornarvi sopra, poiché la loro origine è chiara; ed è chiara anche quella di altri laghi, come quelli di *sbarramento* di

una valle per opera di materiali di deiezione o per frane e scoscendimenti. Facile ad intendersi è anche l'origine dei *laghi crateri*, formati cioè dall'accumularsi di acque nei crateri spenti, come i laghi dei Monti Albani, il lago di Bolsena, il lago di Agnano ed i laghi di Monticchio sul Vulture.

Alcuni altri laghi, detti *laghi d'erosione*, debbono la loro origine all'erosione operata o dall'acqua o dai ghiacciai, per cui si forma una cavità nella quale si raccolgono le acque: come sono i laghi di S. Michele e di Chiaverano presso Ivrea.

Altri sono *laghi di sprofondamento*, come quello formatosi nel 1895 presso Leprignano (Roma); e ve ne sono anche che ricevono le acque da cavità sotterranee, come vari laghetti della Maremma Toscana ed il lago di Zirknitz in Carniola. Questi ultimi, sviluppatissimi nella regione del Carso nell'Istria, sono anche detti *laghi carsici.*

Altri laghi richiamano la loro origine dall'essere stati in antico golfi di mare o grandi porzioni di mare, come il Caspio, l'Aral, il Baical, ed hanno anche il nome di *laghi relitti*; mentre si riserba il nome di *laghi costieri* a quelli che si formano lungo le coste, e sono dovuti a bracci o seni di mare da questo separati per mezzo dei cordoni littorali.

Molti laghi interni, ed anche i relitti in molti casi, sono dovuti alle cause istesse per cui si sono formate le pieghe che originarono le montagne, e si dicono *laghi tettonici*. Di tal natura sono i laghi del Canadà (Superiore, Michigan, Huron, Erie, Ontario), il Wener ed il Wetter in Svezia, vari laghi dell'Affrica centrale ecc. Fra questi, alcuni sono proprio relitti, e lo attestano in molti casi alcuni animali di carattere marino che in quei laghi si trovano.

Dallo sbarramento di fiordi si formano altri laghi, come vari di quelli che si trovano in Svezia e Norvegia; e ad origini simili si riferiscono da alcuni autori i grandi laghi dell'Italia settentrionale, quelli di Ginevra e di Costanza, e molti altri della Svizzera; ma i fiordi sono dovuti a dislo-

cazione di strati, e molti laghi alpini sono invece scavati in strati orizzontali che non sono per nulla dislocati. Altri han pensato, ed a torto, che essi sieno originati dall'erosione operata dalla morena di fondo di ingenti ghiacciai; ma l'erosione può bensí formare piccoli bacini lacustri, ma non mai bacini cosí grandi e cosí profondi.

Per vero, l'origine dei laghi alpini o *laghi marginali* dipende, piú che da una causa sola, da un complesso di cause, che variano, può dirsi, da lago a lago. L'ipotesi piú probabile è che essi sieno dovuti ad un lento movimento orogenico, che sarebbe stato capace di produrre un abbassamento di 400 metri per la parte settentrionale delle Alpi e di 600 per la parte meridionale, coadiuvato dall'azione erosiva delle acque correnti. Formatesi tali depressioni, furono da prima occupate dal mare, e poi, in seguito a movimento d'inalzamento, emersero, ed un ghiacciaio le occupò. Questo ghiacciaio, formando a valle di esse una barriera, le ha protette dall'interramento, il quale, ora che il ghiacciaio piú non esiste, avverrà senza dubbio in epoca non lontana. In molti laghi infatti l'interramento è già molto avanzato; anzi se l'origine dei monti, ai cui margini si formarono tali depressioni, è antica, i laghi sono già stati interrati, ed oggi sono scomparsi; essi si trovano quindi solo nelle montagne giovani, quali sono le Alpi. Comunque la origine di questi laghi è ancora discussa.

A sprofondamenti lineari sono dovuti altri laghi (fig. 47), prodotti cioè da fratture, nelle quali una parte del terreno è scorsa sull'altra, e, nella cavità a pendenza dissimmetrica cosí originatasi, si è raccolta l'acqua.

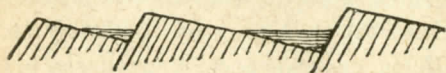



Fig. 47. — Laghi di sprofondamento (dal De Lapparent).

Ne è esempio la vallata del Giordano col lago di Tiberiade ed il Mar Morto; altri esempi abbiamo nel lago Rodolfo e nel gran lago Tangagnica in Africa. La fig. 48 ci dà una rappresentazione di laghi *vallivi*, dovuti appunto ad un abbassamento tettonico.

Il lago Balaton in Ungheria è dovuto ad una depressione regionale, che portò quella regione a livello piú basso delle circostanti. Il lago che l'occupava, di cui il Balaton è il residuo, era in origine molto piú esteso. I laghi della Macedonia e della Tessalia si riportano alla stessa origine.

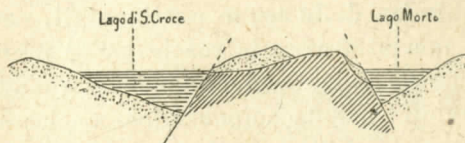



Fig. 18. — Sezione dei laghi Lapisini, nella depressione di Fadalto, antica valle del Piave, (secondo Futterer).

Denudazione ed effetto finale dell'azione erosiva dei fiumi. — Da tutto ciò che abbiamo precedentemente detto vediamo quanto sia grande il lavoro di erosione, e quindi di distruzione o di *denudazione*, operato dalle acque sulle montagne, considerando che all'azione meccanica si unisce anche una azione chimica.

Le Alpi, la cui origine è, rispetto ai tempi geologici, molto recente, portano le tracce indelebili di una denudazione notevolmente avanzata; anzi l'Heim calcola che il volume delle Alpi centrali sia appena la metà di quello che sarebbe stato senza l'erosione.

Quanto piú alte sono le cime, e piú sono colpite dalla distruzione; ed anche, in generale, quanto piú alte ed acute sono le cime e tanto piú recenti sono le catene cui appartengono.

L'erosione tende ad appiattire progressivamente i versanti, tende a distruggere le vette; e, se una forza interna della terra non le ricostituisse, a poco a poco la terra tutta dovrebbe convertirsi in una vasta pianura. Tale tendenza è provata chiaramente dal bacino del Mississippi, nel quale è stato cosí bene ridotto il primitivo rilievo, che appena a 760 chilometri dalla foce del fiume si raggiunge l'elevazione di 60 metri sul livello del mare. La pianura del Mississippi, da Memphis alla foce, ha una pendenza di 1

per 10000. Lo stesso vale pel piano della Russia meridionale; e sono i terreni argillosi quelli che si prestano meglio ad un regolare appianamento. Per la pianura del nostro Po, da Chivasso a Piacenza, si ha, come vedemmo, una pendenza di circa 1 per 1000, e da Piacenza al mare quasi 1 per 2000.

Azione chimica delle acque continentali. — Le acque continentali non attaccano le roccie meno profondamente dell'acqua marina, sciogliendole non solo, quando sieno facilmente solubili, ma decomponendole anche addirittura. Per quest'acque appunto, e già lo accennammo per incidenza, molti minerali si idratano, i minerali di ferro si trasformano in idrossidi, e l'anidrite si converte in gesso.

Si intende come l'idratazione, aumentando il volume delle roccie, e la soluzione invece diminuendolo, possa dare origine a svariate modificazioni e a movimenti del suolo, siano lenti, siano improvvisi, come le frane, gli scoscendimenti ecc. È inutile insistere nel dire che le acque piovane alterano le roccie, specialmente perché contengono sempre traccie di acido carbonico. Cosí le roccie feldspatiche, pirosseniche, anfiboliche si caolinizzano; gli schisti argillosi si trasformano in argille plastiche ed in terre mobili; i calcari si sciolgono in parte, mentre i minerali ferrosi che contengono si idratano, oppure i calcari stessi si trasformano in vere dolomie, quando la roccia contiene molto carbonato di magnesio, che resta, mentre il carbonato di calcio è portato via dalle acque cariche di acido carbonico. Tutto ciò altera profondamente le roccie, in particolar modo alla loro superficie, ed agevola alle acque correnti la loro azione di trasporto e di erosione. Di piú le acque che scorrono alla superficie si introducono nelle fessure e screpolature, che in tutte le rocce si rinvengono, tanto che gli spigoli di tali fessure si logorano, si arrotondano, e la roccia appare come costituita da un agglomerato di massi arrotondati (fig. 49).

Il caso è frequente in molte roccie vulcaniche, ed in varie arenarie. Al cosí detto Botro alle palle presso Vol-

terra, si osservano delle vere palle di arenaria, le quali, con molta probabilità, hanno origine simile.

Il *loess*, specie di fango giallo che si suole trovare sul margine degli strati glaciali, è dovuto ad alterazioni prodotte dall'acqua e dall'aria; e simile origine ha il *ferretto*, fango rosso-giallastro che forma il mantello di antiche morene. In Cina il loess raggiunge uno sviluppo colossale, ed in esso le acque hanno scavato profondi burroni a pareti verticali. Sembra però che il loess della Cina non abbia la medesima origine del loess europeo, che è benissimo sviluppato, in particolar modo nella valle del Reno.

Fig. 49. — Struttura sferoidale nel diabase di Prete Michele presso Bonassola (Riviera di Levante), sul mare. Esempio di corrosione e di alterazione prodotta dalle acque superficiali.

Una delle sostanze che l'acqua, carica di acido carbonico, cosí di lago come di corrente, contiene sciolta in abbondanza è il calcare; ma quando essa si trova ad intimo contatto coll'aria, come quando turbina in cascata, allora l'anidride carbonica si disperde nell'atmosfera, ed il calcare, non piú disciolto, precipita. Si formano cosí depositi ed incrostazioni. Frequenti sono i depositi calcarei; cosí formansi le stupende *stalattiti* e *stalagmiti* nelle grotte, per le goccie che stillano dalla volta e terminano di evaporare al suolo, abbandonando coll'acido carbonico anche il calcare che contenevano; cosí si formano i tufi calcarei, come il *travertino* con cui si sono fabbricati i piú bei monumenti di Roma. L'Aniene, ricco di calcare, precipita in cascate a Tivoli, e deposita masse abbondanti di tufi calcarei, tanto da sollevare notevolmente il suo letto; per cui, nel 1832, si dovette deviarne il corso per proteggere la città di Tivoli contro le inondazioni. Il Velino, alla cascata delle Marmore, deposita abbondante calcare, formando, per opera delle acque turbinanti, alla base della cascata *ooliti* e *pisoliti*, cosí dette per la somiglianza con uova di pesci e semi di pisello. Si hanno esempi di tali calcari nelle provincie di

Pisa e di Potenza. Il calcare depositato alla spiaggia forma la *panchina*, come quella di Livorno.

Frequenti sono anche i depositi di limonite od idrossido di ferro, specialmente nelle acque stagnanti. Il fatto è spesso provocato da vegetali microscopici; ed il ferro idrossidato si deposita allora in forma di ooliti e pisoliti.

Effetto dell' azione chimica delle acque, combinata con quella dell'aria, è la formazione della *terra rossa* (argilla ricca di ferro), che deriva frequentemente dall'alterazione dei calcari puri. Essa è comunissima nelle città littoranee dell'Adriatico. Simile origine ha il *lehm* [1] rosso che si trova nelle caverne e nelle grotte calcaree.

Altro prodotto di trasformazione per opera della degradazione meteorica è la *laterite*, che è una argilla sabbiosa, lacunosa, ricca di ferro, di colore bruno o rossiccio, e deriva dalla trasformazione di schisti cristallini o di roccie eruttive.

IL CLIMA

Per clima devesi intendere il complesso delle condizioni di temperatura, umidità, ventilazione, pressione atmosferica, precipitazione, che si verificano in una data regione; ossia il clima è caratterizzato da quella serie di fenomeni meteorologici, che sono in rapporto colle condizioni fisiche di una data località terrestre. Abbiamo visto che tali fenomeni meteorologici non si presentano uguali dovunque, talché è facile dedurre che anche i climi debbano, nelle varie regioni della superficie terrestre, presentarsi diversi.

Una distinzione fondamentale che può farsi nei climi è quella in *climi costanti* o marini od insulari, *climi eccessivi* o continentali e climi *variabili*.

I climi costanti sono proprî delle regioni prevalentemente marittime; poiché il mare, riscaldandosi e raffreddandosi piú lentamente della terra, mitiga gli eccessi di temperatura.

---

[1] Colla parola *lehm* non tutti gli autori vogliono significare la stessa cosa. Alcuni infatti indicano cosí la parte piú superficiale del *loess*.

Nell'interno dei continenti si hanno invece grandi differenze tra la media invernale e la media estiva; ivi si ha il clima continentale od eccessivo. A Mosca, per esempio, la differenza tra le due medie è di 57°,7. Milano, Bologna, Foggia trovansi in simili condizioni.

Sono invece variabili i climi intermedî, come quelli di Roma e di Ancona.

A seconda della temperatura i climi si sogliono anche dividere in *tropicali, temperati* e *freddi.* I tropicali, caratterizzati da temperatura media molto alta, da presenza di venti regolari, da notevole abbondanza di pioggia, si estendono tra i due tropici. I temperati ed i freddi sono invece caratterizzati da minore umidità, da precipitazioni disugualmente distribuite, da temperature molto piú variabili. Questa distinzione ha valore, bene inteso, in tesi generale, poichè nei particolari si possono avere notevoli varianti, in causa delle diverse azioni che possono modificare il clima, e delle quali ora dobbiamo occuparci.

Cause dei climi. — Le cause che possono agire sui climi e modificarli sono di due sorta, le une riferibili alle *condizioni astronomiche* le altre alle *condizioni geografiche.*

Qui conviene intenderci bene: parlando di clima noi si intende parlare di *clima fisico* e non di *clima matematico.* Col nome di *clima matematico* si suol significare una teorica distribuzione del calore sulla superficie della terra, dipendente unicamente dalla distanza del sole, dalla obliquità dei suoi raggi, dalla diversa durata del giorno e della notte, talchè il clima matematico sarebbe lo stesso per tutti i luoghi posti sullo stesso parallelo.

In pratica una gran quantità di circostanze turbano questo teorico clima matematico, ed è appunto a tali circostanze che si deve il *clima reale* o *fisico,* di cui ci occupiamo.

Sappiamo già che l'asse terrestre non ha, rispetto alla superficie della terra, una posizione fissa; e ciò naturalmente influisce nell'alterare i climi delle varie regioni. In secondo luogo neppure si deve considerare fissa ed immutabile la conformazione del nostro sistema solare; che certo non è stato, in tutti i tempi, quale ci si presenta oggi. Infatti, come ben dice il DE LAPPARENT, partendoci dall'ipotesi della nebulosa primitiva, la terra, quando si

formò, si trovava in presenza di un sole allo stato nebuloso, di diametro apparente assai superiore all'attuale, talchè la distribuzione del calore e della luce doveva essere assai diversa da quella d'oggi, non essendo allora la terra divisa in due esatte metà dal circolo di illuminazione.

Né devesi trascurare la variazione della eccentricità dell'orbita terrestre, che è un fattore importantissimo. Gli astronomi calcolano che si ebbe la massima eccentricità or sono 100.000 anni, ed ora ci avviciniamo ad un periodo di minima.

Fig. 50. — Spiegazione dei periodi glaciali sulla superficie terrestre.

Eccentricità nell'esempio disegnato 0.07775. - Media distanza della terra dal sole 21.400.000 miglia. - Differenza tra afelio e perielio 14.212.700 miglia.

Si prenda, ad esempio, l'eccentricità come è disegnata nella fig. 50: all'afelio la terra sarà molto più lontana dal sole che al parielio; e se, per di più, il solstizio d'inverno coinciderà con l'afelio e quello d'estate col perielio, nell'emisfero boreale avremo un inverno freddo e lunghissimo, mentre l'estate sarà più calda ma brevissima. L'emisfero australe avrà invece inverno breve e mite, perché ha luogo nella posizione più vicina al sole, ed estate lunga ma mite, perché allora la terra trovasi all'afelio. Si capisce come in tali condizioni si sarebbero potuti sviluppare nell'emisfero boreale, potenti ghiacciai cui la breve estate non poteva giungere a distruggere.

Questa ipotesi, riportata in vari libri, è sostenuta dal Croll; ma, oltre alla contradizione con alcuni fatti meteorici, presenta una eccezione nell'esistenza di ghiacciai dell'epoca glaciale nell'emisfero australe (Nuova Zelanda ecc.).

Per effetto del moto conico e di nutazione dell'asse terrestre si ha uno spostamento nell'equinozio, che s'avanza

annualmente di 62", per cui si sposta anche la linea degli apsidi. Perciò il nostro emisfero, che ha ora l'estate quando la terra è all'afelio e l'inverno quando è al perielio, potrà a poco a poco trovarsi in condizioni assolutamente diverse.

Quando l'afelio e il perielio si troveranno sulla linea degli equinozi, i due emisferi riceveranno la stessa quantità di luce e di calore. Progredendo ancora, l'afelio coinciderà col solstizio d'inverno. In 10750 anni, secondo i calcoli, si compirà tale mutamento.

Insomma queste e tutte le altre variazioni astronomiche, già altre volte accennate, hanno grande influenza sui climi.

Si aggiunga a tutto ciò, che le variazioni delle macchie solari possono avere prodotto nel passato, e possono produrre nell'avvenire, variazioni nella quantità di calore che il sole invia alla terra, per quanto esse non sieno gran che apprezzabili.

Se consideriamo ora le cause geografiche, vedremo che esse non sono meno delle astronomiche soggette a vicissitudini, che possono alterarle e modificarle, ed indurre quindi cambiamenti nei climi. Ricordo fra le influenze geografiche le principali:

1.° La diversa distribuzione delle terre e delle acque, che diversamente agiscono sulla temperatura, sulla pressione atmosferica, sulla umidità e sulla precipitazione, in rapporto col diverso riscaldamento della terra e delle acque.

2.° Le correnti marine, che, o calde o fredde, modificano notevolmente il clima delle regioni di cui lambiscono le coste.

3.° Le correnti atmosferiche, che influiscono molto sul clima, a seconda che sono calde o fredde, secche od umide.

4.° La esposizione del terreno rispetto al sole.

5.° La natura del suolo, per il riscaldamento diverso delle roccie che lo compongono.

6.° La presenza od assenza di vegetazione, poiché le piante utilizzano nei loro processi vitali una gran quantità del calore proveniente dal sole, ed agiscono anche notevolmente sulla umidità relativa di un luogo.

7.° L'altezza e la disposizione delle catene montuose, che arrestano le correnti atmosferiche o le deviano, ed influiscono sui luoghi vicini colle loro nevi ed i loro ghiacciai.

Pensando ora che la configurazione dei continenti fu, in epoche diverse, assai differente dalla attuale; che, col variare di tale configurazione, debbono pure essere variate le direzioni delle correnti marine e dei venti, si capisce come sulla terra si siano succeduti, in rapporto anche con le variate condizioni astronomiche, molti e svariati cambiamenti di clima; e ciò è esattamente confermato dallo studio dei fossili, e dalla attuale distribuzione delle piante e degli animali.

FLORE E FAUNE

L'importanza geologica dello studio della distribuzione degli esseri organizzati non può essere messa in dubbio, poiché, come essa ci palesa la variabilità dei climi e delle altre condizioni delle località dove le specie vivono, mostrandoci intimi i rapporti tra la natura fisica di un luogo e gli esseri che lo popolano, cosí anche la conoscenza dei fossili che si rinvengono in un dato terreno ci permetterà di ricostruire la storia delle condizioni fisiche e climatiche delle epoche passate.

L'insieme delle specie vegetali che abitano in una data regione forma la *flora* di quella regione; mentre l'insieme delle specie animali che la popolano ne costituisce la *fauna*.

Avvertasi, a proposito del significato delle parole *flora* e *fauna*, che l'abbondanza delle piante e degli animali di un luogo non costituisce una flora od una fauna ricca, qualora abbondino gli individui ma non le specie. Cosí, una regione può presentare una *ricca vegetazione* per abbondanza di piante di una o di poche specie, ma in tal caso si dirà che essa possiede una *flora povera*.

Distribuzione dei vegetali. — Le piante non sono uniformemente distribuite sulla superficie della terra; e ciò per diverse cause che influiscono sulla loro maggiore o minore diffusione, sul loro sviluppo, sulle condizioni, insomma, della loro esistenza.

Che il terreno, con la diversa natura dei materiali che lo costituiscono, ed il clima debbano notevolmente influire sulla distribuzione delle piante, non vi ha dubbio alcuno; ma non possiamo riferire a questi soli fattori la diffusione diversa degli organismi vegetali. Non va dimenticata l'azione che gli organismi esercitano tra loro, cioè quella lotta per la vita che si combatte ogni momento tra animali ed animali, tra animali e piante, tra piante e piante, e nella quale la vittoria resta agli esseri che sono meglio organizzati per sostenere vantaggiosamente questa lotta; né bisogna dimenticare che le piante che vivono oggi sulla terra (e lo stesso deve intendersi per gli animali) discendono da quelle che la popolarono nel passato; cosí che l'attuale distribuzione dei viventi non può essere chiaramente intesa, senza avere nozioni sulla storia dei loro antenati e sulla distribuzione geografica dei medesimi.

Di piú le modificazioni che ebbero luogo nel passato sulla superficie della terra hanno indubbiamente influito sulle condizioni di vita degli esseri che la popolarono; si sollevò una catena di monti, si staccò un'isola dal continente, si aprí un braccio di mare, ed ecco che sorsero tante condizioni sfavorevoli alla diffusione degli organismi; cambiò il regime dei venti in una regione, ed ecco che quei venti trasportarono i semi delle piante in località diverse da quelle verso cui li portavano prima; una regione ricca di vegetazione diventò, pel mutato clima, arida ed inospitale, e gli esseri che la popolavano emigrarono o furono distrutti; si riunirono due terre, ed ecco aperta agli esseri organizzati una via di comunicazione; una corrente marina trasportò in lontane regioni i semi resistenti di una pianta, che al mare provennero per un fiume, ed ecco

quella pianta germogliare, se vi trova favorevoli le condizioni di clima e di suolo, in quelle regioni lontane.

Dal complesso di tutte queste influenze, non esclusa quella dell'uomo con la cultura, con le bonifiche, col diboscamento, ed anche coll'involontario trasporto di semi da paese a paese, risulta adunque l'attuale distribuzione dei vegetali.

Zone di vegetazione. — Senza potere asserire che le piante sieno distribuite in zone corrispondenti alle zone terrestri, nondimeno è fuor di dubbio che esiste un rapporto tra queste e la distribuzione dei vegetali. E così salendo le montagne, siccome la temperatura media va decrescendo, come decresce dall'equatore ai poli, si ha presso a poco la stessa successione nelle piante; s'intende a grandi linee, e non tenendo conto delle particolari condizioni locali. Humboldt infatti stabiliva la seguente distribuzione media in latitudine ed altitudine (questa ultima però per le montagne della zona equatoriale).

	ZONE DI VEGETAZIONE IN LATITUDINE	ZONE DI VEGETAZIONE IN ALTITUDINE SOTTO L'EQUATORE
1	Zona equatoriale, tra 0° e 15° lat.	Zona delle palme e dei banani, da 0m e 600m.
2	Zona tropicale, da 15° a 23°.	Zona delle felci arborescenti fino a 1200m.
3	Zona subtropicale, da 23° a 34°.	Zona dei mirti e degli allori, fino a 1900m.
4	Zona temperata calda, da 34° a 45°.	Zona degli alberi sempreverdi, fino a 2500m.
5	Zona temperata fredda, da 45° a 58°.	Zona delle piante dicotiledoni a foglie caduche, fino a 3000m.
6	Zona subartica, da 58° a 66°.	Zona delle conifere, fino a 3700m.
7	Zona artica, da 66° a 78°.	Zona degli arbusti e dei rododendri fino a 4300m.
8	Zona polare, oltre il 78°.	Zona delle erbe alpine, fino ai 5000m.

Il quadro indica già i caratteri predominanti delle zone in altitudine; consideriamo quelli delle zone in latitudine, corrispondenti alle prime.

La zona equatoriale è la più ricca. Ivi si estendono immense foreste vergini, ed in molte regioni di questa zona crescono vegetali *endemici* (sono chiamate così quelle specie che vivono limitate ad una regione), come l'albero della china nell'America del sud, il caffè nell'Abissinia, ecc.

Le zone tropicali (una al nord l'altra al sud dell' equatore) abbondano di aracee, di banani, di palme, di splendide felci arborescenti.

Le zone subtropicali sono caratterizzate da palme, mirti, allori, fichi d'India; dalle cicadee in America e nel Madagascar; dal the in Asia.

Le zone temperate calde presentano alberi sempreverdi dicotiledoni, come limoni, olivi, aranci, allori. Vi è diffusa la quercia, e vi si trovano i vigneti.

Le zone temperate fredde offrono piante dicotiledoni a foglie caduche, grandi praterie, cereali ed alberi da frutta.

Le zone subartiche sono il regno delle foreste di conifere e delle torbiere.

Le zone artiche sono le regioni degli arbusti; vi sono rari gli alberi, come betule e pini.

Le zone polari hanno vegetazione poverissima; ivi, oltre l' 82° di latitudine, non si presentano che ghiacci e nevi, ed, ove le rupi sono nude, licheni, muschi e poche erbe striscianti.

Queste zone però presentano qua e là delle regioni in cui i caratteri della flora sono assai diversi da quelli loro propri; così nella zona equatoriale si trovano aridi deserti, come quelli dell' Affrica, si trovano i *llanos* dell'Orenoco, i *campos* del Brasile, in cui si ha vegetazione temporanea.

Formazioni vegetative terrestri. — Ogni regione della terra è caratterizzata da specie, che si riuniscono a formare dei consorzi naturali, i quali danno un aspetto speciale al paesaggio della regione. I consorzi possono essere costituiti da specie disparatissime, riunite perché hanno gli stessi bisogni e le stesse esigenze di terreno e di clima. Alcune specie di un consorzio abbondano in individui, e formano di esso la principale caratteristica.

Le formazioni vegetative hanno quindi intimi rapporti col clima e con la natura del suolo, ed intimi rapporti, non specifici ma biologici, fra loro.

Le principali formazioni, che ci interessa di conoscere, sono le seguenti:

1.° *Il bosco.* — Esso è caratterizzato da piante legnose arboree; può essere formato da piante di basso fusto, che producono rami sin dalla base, ed allora si chiama *bosco ceduo*, oppure da piante di alto fusto che sviluppano i rami principalmente alla estremità, ed allora è propriamente chiamato *bosco di alto fusto*.

Quasi tutti i boschi d' Europa (le eccezioni sono ben poche) sono soggetti alla cultura. I *boschi di conifere* sempreverdi, come quelli di pini, di abeti, di larici, occupano principalmente le località montuose; ma si hanno boschi di pini anche sulle colline (pinete fra Altopascio e la Val d'Arno in Toscana) e nella pianura (pinete di Tombolo, presso Pisa, e quelle celebri di Ravenna). Caratteristici sono anche i boschi di quercie e quelli di castagni. I boschi a foglie caduche ricettano anche una vegetazione di piante suffruticose, di erbe e spesso altresí funghi di varie specie.

2 ° *Macchie di arbusti.* — Sono formate da gruppi di frutici e suffrutici, ramificati sin dalla base, quali il mirto, l'erica o scopa, il corbezzolo, i ginepri, i pruni, e, sulle alte montagne, da macchie di rododendri.

Questa formazione vegetativa è sviluppatissima nella nostra Italia.

3.° *La tundra.* — È caratteristica del nord della Russia e della Siberia, ed è costituita da licheni e da muschi.

4.° *Il prato.* — È formato da piante erbacee perenni, che coprono intieramente il suolo. Vi predominano le graminacee.

I prati si sviluppano principalmente in prossimità delle acque; ed, oltre alle graminacee, vi si trovano ombrellifere, margheritine, crisantemi, trifogli, ranuncoli, salvie, mente ecc.

Nelle regioni calde ai prati si sostituisce la *savanna*, in cui il terreno presenta qua e là chiazze libere dalle graminacee, le quali, nel rimanente della savanna, hanno fusto assai alto, e ne costituiscono la caratteristica principale.

5.° *La steppa.* — In varie parti della terra si estendono le *steppe*, che sono un termine medio fra i deserti e

le praterie, in quanto che, durante la stagione estiva, la vita delle erbe e delle altre piante si arresta. *Steppe erbose* si hanno in Russia; *steppe saline* in Asia. In queste ultime abbonda il sale, ed in molte in copia tale da non permettere alcuna vegetazione.

Formazioni vegetative delle acque dolci. — Nelle acque dolci si formano vari consorzi di piante di cui ricordiamo i principali:

1.° *Torbiere.* — Si formano nei terreni poco permeabili e nelle località ove abbonda la pioggia. Vi predominano i muschi, le ciperacee e le graminacee.

2.° *Lamineti acquatici.* — Questi sono costituiti da piante i cui rizomi vegetano sul fondo delle acque e le cui foglie galleggiano, come quelle delle ninfee, o da piante galleggianti, come quelle delle lenticchie d'acqua.

3.° *Viluppi d'acqua dolce.* — Si sviluppano nelle acque correnti e nelle ferme, e sono costituiti dai potamogeti, dalle vallisnerie, dalle caracee.

4.° *Canneti.* — Sono formati di canne che crescono sulla terra ferma in prossimità e sulle sponde di corsi d'acqua od anche nell'acqua stessa.

5.° *Feltri.* — Sono formati da alghe filiformi, che occupano talvolta le acque stagnanti ed i ruscelli.

Formazioni vegetative oceaniche. — Queste, in prossimità delle coste, sono costituite da poche piante fanerogame e da molte alghe viventi nelle acque del mare.

In alto mare si trovano molte alghe unicellulari, le diatomee, e varie alghe galleggianti (mari di sargasso, formati da alghe trasportate dalle correnti).

A seconda della profondità la formazione vegetativa è diversa; cosí, fra l'alta e la bassa marea, si ha la formazione cosí detta *intercotidale*, cui segue, sino a 400 m. di profondità, la *sublittorale*, ricca di alghe che richiedono molta luce.

Diatomee viventi sembra per altro che si trovino anche nelle piú grandi profondità oceaniche, il che proverebbe come la vita si agiti anche nei piú tenebrosi abissi del mare.

Linee di vegetazione. — Abbiamo già detto che il clima ha una influenza capitale sulla distribuzione delle piante; talché una specie non può vegetare oltre certi dati limiti geografici, opponendosi alla sua ulteriore diffusione la natura climatica delle regioni circostanti. Se con una linea uniamo tutti i luoghi in cui la diffusione di una specie è arrestata dall'influenza del clima, si forma una *linea di vegetazione*, che spesso rientra in sé stessa determinando i *limiti dell'area di distribuzione della specie.*

Alcune specie, e sono appunto quelle chiamate *endemiche*, hanno area limitatissima, e trovansi o sopra un solo monte od in una sola isola, come una specie di *Batatas* che vive soltanto nell'isola d'Ischia, le colossali *Sequoia* proprie della California, la *Sanguisorba dodecandra* che trovasi solo nella Valtellina. Altre specie, chiamate *cosmopolite*, hanno invece una diffusione grandissima e vegetano quasi in ogni clima, come: l'ortica, la *Portulaca oleracea*, la *Capsella Bursa-pastoris*, la *Poa annua*, il *Potamogeton natans* ecc.

Sull'estensione dell'area di distribuzione delle varie specie hanno grande influenza le condizioni geologiche dei periodi passati, che indussero variazioni di clima, e quindi anche *emigrazione* di specie, e per cui furono anche agevolati gli incrociamenti e la formazione di nuove specie.

Flore naturali. — Tenendo presenti i criteri sopra accennati, si conclude che i consorzi e le formazioni vegetative offrono un criterio importante per dividere la terra in *flore naturali.*

Si annoverano oggi 35 flore naturali; e tra queste mi limito a poche considerazioni sopra la *flora californiana* e sulla *mediterranea*, che, se pur differiscono tra loro nelle specie, hanno nondimeno grandi somiglianze nelle forme e nell'aspetto della vegetazione, tanto che la California è chiamata l'Italia del Pacifico. Nella regione mediterranea, ove si ha dolcissimo il clima, e le piogge sono limitate alla stagione invernale, si annoverano, sopra moltissime specie, 4200 specie che le sono particolari; e nella California se ne contano circa un migliaio. Nella prima abbondano princi-

palmente le piante sempreverdi, come i mirti, i lentischi, gli allori, i lecci, gli olmi, gli agrumi, la quercia da sughero; la flora californiana è caratterizzata da forme corrispondenti, e vi si trova anche il colosso dei vegetali, la *Sequoia gigantea*, che giunge sino a 150 metri di altezza. Abbondano, in ambedue le flore, le graminacee annue, le orchidacee, le amarillidacee, le gigliacee, le faseolacee, le asteracee o composte, le lamiacee o labiate ecc. Le crittogame vascolari non vi sono abbondanti.

Specie vegetali estinte. — A dimostrare l'intimo rapporto d'origine che esiste tra le flore attuali e quelle del passato, basta lo studio delle *specie estinte*, i cui resti ci sono stati conservati negli strati terrestri. Dalla considerazione di quei fossili si ricava che, da prima, le piante erano uniformemente distribuite; solo nelle epoche alla nostra vicine si ha la prova chiara della circoscrizione delle specie in zone di vegetazione; anzi una zona temperata deve essersi estesa sino alle regioni circumpolari attuali, poiché ivi si trovano allo stato fossile molti vegetali, i cui rappresentanti viventi prosperano in latitudini molto piú basse. Troviamo cosí allo stato fossile, in Islanda, in Groenlandia, allo Spitzberg, tigli, platani, ninfee, la cui esistenza in quelle oggi freddissime regioni deve necessariamente portarci alla conclusione, che allora le condizioni di calore e di luce dovevano esservi assai diverse dalle attuali. Le variazioni della eccentricità dell'orbita terrestre e lo spostamento dell'asse della terra si possono giustamente invocare, e già lo vedemmo, per spiegare, almeno in parte, questo fatto.

Molte di tali specie artiche sono oggi estinte; rarissimi sono invece i generi estinti; e, tra le specie attuali, quelle che piú corrono pericolo di una prossima estinzione sono le specie endemiche.

Distribuzione geografica degli animali sui continenti. — Se è difficile il poter determinare la distribuzione geografica delle piante, è assai piú difficile il determinarla per gli animali, specialmente in causa delle emigrazioni vo-

lontarie di molte specie. Quello però che ci è dato asserire, come già si è fatto per le piante, si è che la distribuzione degli animali è in diretto rapporto con la distribuzione delle specie che vissero nel passato e che sono gli antenati delle specie attuali. Oltre a ciò un'influenza sulla distribuzione degli animali l'hanno anche le cause stesse che già abbiamo ricordato per le piante; talchè, ad esempio, un'alta catena di montagne, un bacino di mare sono ostacoli insormontabili per alcune specie di animali; e, se troviamo in un'isola degli animali, privi di organi di volo, che vivono anche in un continente da quell'isola più o meno lontano, siamo costretti a concludere che quell'isola si è separata, in epoca più o meno recente, da quel continente.

Riguardo alla distribuzione degli animali, la superficie della terra si può dividere in sei regioni (la prima e la seconda si possono anche riunire in una sola col nome di *regione artica*) i cui confini non si possono per vero definire esattamente; esse sono per altro separate o da grandi rilievi terrestri, o da profonde od anche vaste estensioni di mare, che possono, talora, essere superate da alcune specie.

Queste regioni sono (fig. 51):

1.° *Regione paleoartica*, che comprende l'Europa, l'Asia al nord dell'Imalaia, l'Asia minore, l'Affrica al nord dell'Atlante.

In questa regione è, prima di tutto, importantissimo a considerarsi un fatto, ossia l'esistenza di certe specie, come la lince, la lepre alpina, l'ermellino, che, vivendo oggi nelle regioni più settentrionali dell'Europa, si ritrovano anche sulle vette coperte di nevi e di ghiacci dei Pirenei e delle Alpi. Ciò sta a dimostrare (ed i resti fossili ne sono la prova) che nell'Europa si ebbe un periodo in cui i ghiacciai si estesero grandemente (periodo glaciale), per cui si originò un clima, che permise nelle regioni meridionali l'esistenza di una fauna e di una flora proveniente dagli esseri che popolavano le regioni artiche. Cessato il periodo glaciale, queste specie cercarono le località ove il clima

Fig. 51. — Distribuzione geografica degli animali.

era favorevole alla loro esistenza, si ritirarono cioè sulle montagne. Ciò spiega anche il perché dei rapporti intimi esistenti tra le specie dell'Europa e quelle del settentrione dell'Asia e dell'America del nord, oggi divise da barriere che sembrano insuperabili.

Le condizioni di questa regione sono svariatissime; si va dalle provincie subtropicali, ricche in vegetazione ed in forme animali, alle foreste di conifere, alle praterie, alle steppe, ai deserti dell'Asia centrale, alle diacciate terre dei poli; ed, in corrispondenza colla diversa natura climatica, si ha anche diversità di specie animali.

L' ordine principale è quello dei Rosicanti; ed importantissime, tra i Ruminanti, sono le famiglie dei Bovini e degli Ovini. Gli Uccelli per la sola Europa ascendono a 670 specie. Abbondano gli Anfibi che compensano un poco la scarsità dei Rettili; sono importanti specialmente i generi *Proteus*, *Salamandra, Hyla.*

Caratteristici dell' Europa sono, tra i Mammiferi, gli Insettivori, e, tra gli Insetti, i Coleotteri; e bisogna ricordare anche il camaleonte, un rettile che può dirsi particolare alla provincia mediterranea. Nelle Alpi italiane ha importanza il camoscio, che si ritrova anche sui Pirenei, disgraziatamente destinato ad estinguersi in breve volgere di tempo. È degna di nota la bertuccia (*Inuus ecaudatus*) che vive nel settentrione dell' Affrica, ed anche (ed è la sola scimmia europea) sugli scogli di Gibilterra.

2.° *Regione neoartica.* — Comprende la Groenlandia e l'America del nord fino al centro del Messico; e vi hanno predominio gli stessi tipi della regione paleoartica. Al nord si trova la renna, che in un' epoca anteriore alla nostra viveva pure nell'Europa centrale e meridionale. Si trova nell'America del nord anche l'alce, che vive anche in Europa, al nord, ed il bue muschiato. Verso la parte meridionale della regione sono numerosi gli Insettivori ed i Rosicanti. Molti generi sono esclusivi a questa regione, e fra questi merita particolare menzione il procione. Gli Uccelli differiscono un poco da quelli dell'Asia e dell'Eu-

ropa; caratteristico ne è il tacchino. Vi abbondano poi gli Anfibi ed i Rettili, specialmente gli Ofidiani.

3.° *Regione etiopica.* — Comprende l'Affrica al sud dell'Atlante, il Madagascar ed il mezzogiorno dell'Arabia. Vi abbondano le scimmie Catarrine, e fra queste importantissimi a considerarsi sono il gorilla e lo scimpanzé, nonché i cinocefali. Particolari sono gli elefanti affricani, i rinoceronti affricani con due corna sul muso, la giraffa, gli ippopotami, le antilopi. Abbondano i Carnivori, come leoni, sciacalli, iene. Non così abbondanti sono gli Uccelli che per solito non hanno splendidi colori; meritano fra questi d'essere ricordati gli struzzi, i pappagalli verdi ed i grigi. Sono numerosi i Rettili, come il varano del Nilo, i colossali coccodrilli, e molti serpenti velenosi.

Merita di essere considerata a parte l'isola di Madagascar, in cui sono caratteristici i Lemuri (Prosimie), i pappagalli neri e molti Coleotteri, che, per la loro somiglianza con quelli della Malesia e dell'India, dimostrano un certo qual rapporto fra queste terre e l'isola di Madagascar.

4.° *Regione orientale.* — Comprende l'Asia al sud dell'Imalaia, l'arcipelago Malese, le Filippine. È una regione ricchissima per varietà e numero di animali. Vi vive l'orang-utang, la tigre, il tapiro asiatico, l'elefante asiatico. Gli Uccelli, numerosi, sono belli anche pel colore; infatti questa regione è la patria del pavone, ed è anche la patria del *Gallus Bankiva*, una delle specie progenitrici dei nostri polli. I rettili vi sono e colossali, come il pitone, e molti sono velenosissimi; nuotano nei fiumi i gaviali rappresentanti dei Loricati. Gli Insetti vi sono numerosi e variopinti; si va dagli insetti microscopici alle farfalle che misurano, ad ali aperte, un piede di grandezza.

5.° *Regione neotropica.* — Comprende il sud del Messico, l'America centrale e meridionale. Si estendono in questa regione le savanne, i pampas, le foreste ricchissime di forme vegetali; e vi si trovano anche i tipi di animali i più svariati e specie abbondanti. Circa 900 generi di Vertebrati sono speciali a questa regione. Mancano gli

Insettivori, vi abbondano invece i Chirotteri ed i Rosicanti. Sono esclusivi di questa regione le Scimmie Platirrine, le cavie, gli armadilli; fra le fiere ricordiamo il giaguaro ed il puma. Degno di nota fra i Pachidermi è il tapiro americano. Vi si trovano alcune specie di Marsupiali, fra cui le sarighe; sviluppatissimi i Maldentati, come gli armadilli ed i formichieri. Abbondantissima è la fauna ornitologica, e vanno ricordati i tucani, i pappagalli di dimensioni e colori svariatissimi, gli struzzi americani (*Rhea*), numerose specie di uccelli mosca. Giganteschi vi sono i Rettili; e fra questi il boa, il velenosissimo serpente a sonagli, i tozzi alligatori, le iguane. Gli Anfibi privi di coda abbondano, come il pipa (*Pipa americana*). Gli insetti hanno spesso dimensioni colossali; e vanno ricordate diverse specie di coleotteri luminosi.

6.° *Regione australiana.* — Comprende l'Australia, la Nuova Guinea, la Nuova Zelanda e le isole del Pacifico. Fatta eccezione pel dingo (una specie di cane) per alcuni topi e pipistrelli, animali importati, tutti gli altri mammiferi appartengono agli ordini dei Marsupiali e dei Monotremi. Gli Uccelli vi hanno forme e colori bellissimi: cosí i cacatua, l'uccello lira, il cigno nero, i casoari. Fra i Rettili vanno ricordati alcuni Loricati, affini ai gaviali del Gange, e le raganelle tra gli Anfibi.

Fauna di acqua dolce. — La fauna di acqua dolce è caratterizzata dalla sua grande uniformità. Alcune specie si trovano nei laghi e nei fiumi di tutte le parti del mondo; cosí è per alcuni pesci e per molti molluschi. Il fatto può a prima vista sembrare singolare; ma non lo è piú quando si pensi che le faune di acqua dolce hanno incontestabilmente una origine marina. Così nei laghi Wener e Wetter gli animali hanno grandi somiglianze con quelli dell'Oceano glaciale artico; ed i laghi di Como e di Garda e il lago Maggiore contengono pesci e crostacei, i quali hanno rapporti diretti con la fauna del Mediterraneo ed anche con quella del Mare del Nord; ciò che prova sempre piú quanto già dicemmo sulla antica comunicazione di questi laghi col mare.

La vita nelle isole. — Non meno importante, rispetto alle considerazioni sull'origine delle specie, è lo studio della distribuzione degli esseri nelle isole, ed in particolar modo nelle isole oceaniche, ossia in quelle sorte in seno al mare per opera dei coralli costruttori e dei vulcani.

Quanto alle isole continentali, essendosi queste separate, in un'epoca più o meno lontana, da un continente, è chiaro che richiamano da questo l'origine degli animali e delle piante che le popolano, i quali hanno quindi od identità o grande somiglianza con la popolazione del continente dal quale quelle isole si separarono. Questo continente però non sempre è il più vicino; e ce lo prova l'isola di Madagascar, che, per flora e fauna, ha coll'Affrica, dalla quale è separata per il profondo canale di Mozambico, molto minore affinità di quella che parrebbe ammetterne la grande vicinanza.

Ma le isole oceaniche come si popolarono? Si può ammettere che ognuna fosse un centro speciale di creazione? oppure è logico riconoscere che gli animali e le piante vi sieno pervenuti da altre terre?

Carattere particolare delle isole oceaniche è la mancanza di mammiferi e di anfibi indigeni, come generalmente quella dei rettili e dei pesci d'acqua dolce; i pochi mammiferi che vi si trovano allo stato selvatico vi furono importati. Le Azzorre, di natura vulcanica, presentano uccelli, molluschi ed insetti di carattere prevalentemente europeo ed affricano; il che si ripete per le Canarie e per le isole del Capo Verde. Gli Uccelli delle Bermude (isole madreporiche) mostrano chiaramente di provenire dalla America settentrionale.

Le isole Galapagos nel Pacifico hanno carattere loro proprio nei molluschi terrestri e negli insetti, ed anche in moltissimi uccelli, mentre altri uccelli hanno rapporti colle specie americane.

Il carattere particolare nella flora e nella fauna è ancora più notevole nelle isole Sandwich, di antichissima origine vulcanica; molte specie di animali e di piante sono loro esclusive, altre invece hanno carattere australiano ed anche americano; ed è notevole che vi è, in questo gruppo, differenza specifica anche fra gli animali delle diverse isole che lo formano.

Senza moltiplicare esempi, è logico indurre da ciò, che la popolazione dell'isole oceaniche, costituita principalmente da animali i cui organi di locomozione permettono loro il facile trasporto da uno in altro luogo, deriva da terre circostanti a quelle isole.

A formare una barriera tra il regno australiano e l'asiatico esistono profondissimi bracci di mare fra Gilolo e Celebes, fra Lombok e Bali. Sumatra, Giava, Borneo e Bali si separarono in epoca non lontanissima dal continente asiatico, mentre antichissima ne fu la separazione dalle isole ad est di Giava, che formarono parte di un continente, di cui una grandissima parte fu in seguito distrutta.

Le specie che, dalle terre più o meno lontane, passarono a popolare le isole oceaniche, si trovarono soggette a condizioni di vita ben diverse da quelle offerte dalle terre da cui provenivano; si dovettero quindi modificare profondamente col succedersi dei secoli, e modificarsi, appunto per le diverse condizioni di vita, in modo diverso da quello con cui si modificarono le stesse specie sui continenti.

Ecco perché, quanto più antiche sono le isole, tanto minore è la somiglianza della loro fauna e flora con la fauna e la flora continentale, e tanto maggiore quindi il numero delle specie a loro particolari.

La vita nell' oceano. — La distribuzione degli organismi nel mare si può considerare in senso *orizzontale*, e nel senso della *profondità*. Molti animali che vivono presso le coste non vivono in alto mare e viceversa; nel modo istesso che il mare non è popolato a tutte le profondità dai medesimi esseri; ed è ben diversa la vita che si agita a piccola profondità, in vicinanza alla spiaggia, da quella che anima di forme singolari e svariate gli abissi dell' oceano.

Secondo il FORBES ed altri, oltre alla profondità di 500 metri sarebbe cessata ogni traccia di vita animale. Vedremo come questo sia falso; ma intanto possiamo accettare le quattro zone stabilite dagli autori per la distribuzione degli organismi littorali. Queste sono:

1.° *Zona littorale* od *intercotidale*, compresa tra l'alta e la bassa marea. Si capisce che questa zona manca là ove le maree sono debolissime, e manca anche sulle coste ripide, su cui non possono trovare appoggio gli animali. Scarse vi sono le specie, ma gli individui numerosi. Si trovano sulle coste rocciose in questa zona, fra gli altri, i generi di molluschi *Patella*, *Haliotis*, *Purpura*, sulle spiaggie sabbiose i generi *Cardium, Solen*, nelle fangose il genere *Lutraria*. Sono caratteristici anche i generi *Mytilus* e *Balanus*.

Fra i vegetali sono da ricordarsi i *Fucus*, *Lichina*, *Polysiphonia*.

2.° *Zona delle laminarie*, che va dal livello della bassa marea fino a circa 27 metri di profondità. Essa deve il

suo nome alle alghe laminarie che ne costituiscono il carattere piú saliente. Fra gli animali sono da notarvisi le seppie, i calamai, i *Trochus*, i *Buccinum*, le ostriche, e tanti altri animali dotati di conchiglie dagli splendidi colori, cui fa degna compagnia il colore rosso delle alghe Floridee. Nei mari caldi si trovano in questa zona i coralli costruttori, che non possono vivere a profondità maggiore dei 40 metri. Di questi torneremo a dire fra breve.

3.° *La zona delle coralline*, compresa fra 27 e 92 metri di profondità. È cosí detta perché abitata di preferenza dalle alghe coralline, in mezzo alle quali si trovano molluschi dei generi *Fusus*, *Aporrhais*, *Arca*, *Pecten*, e Actinozoi cornei. Abbondano ivi i merluzzi, le sogliole ed altri pesci. Fra i vegetali sono da considerarsi le *Nullipore*, alghe ricche in sali minerali, che ricuoprono roccie e conchiglie colle loro incrostazioni.

4.° *La zona dei coralli di mare profondo*, oltre i 92 metri, è caratterizzata da *Nullipore* e da coralli ai quali sono attaccate le *Terebratula*. Le conchiglie vi sono scarse a colori poco vivi, ed appartengono, per la maggior parte, a generi che esistevano sulla terra in epoche anteriori alla attuale, come, ad esempio, il genere *Dentalium*. La *Nassa semistriata* è il mollusco piú caratteristico di questa zona.

Fauna pelagica. — Questa fauna è costituita dagli animali che vivono nell' alto mare, indipendentemente dai pesci che lo percorrono. Si trovano in alto mare, in grande quantità, piccolissimi organismi animali, quali le Foraminifere (*Globigerina*, *Orbulina*, *Pulvinulina*) e le Radiolarie.

Fauna abissale. — Abbiamo già detto come in passato si credesse che le grandi profondità marine fossero completamente prive di vita; ma oggi si sa che, anche negli sterminati abissi dell' oceano, vivono e si riproducono animali delicatissimi, come sarebbero spugne a spicole silicee sottilissime, crostacei trasparenti quasi fossero di cristallo, pesci a scheletro spugnoso poco consistente, ma adatto a

sostenere l'enorme pressione dello strato di acqua che loro sovrincombe.

Anche nel Mediterraneo (e si deve ciò agli studi ed alle ricerche dei Prof. Issel e Giglioli) fu scoperta una fauna abissale.

Sarebbe lungo e fuori di posto fare la storia delle numerose osservazioni dirette ad indagare la vita dell'abisso; basti dire che a diverse profondità si pescarono delle bellissime stelle di mare, dei coralli, delle ascidie, dei pesci che non possono tollerare la debole pressione cui vanno incontro quando dalla draga sono trascinati verso la superficie. Singolari esseri che vivono là ove non giunge mai raggio di sole; eppure molti hanno occhi e grandi, e ben adatti alla visione. Ma se il sole non allieta quegli abissi, la luce non vi manca. Molti di quegli animali sono fosforescenti; così alcuni Echinodermi producono una bella luce verde; la penna di mare, che è color di rosa, emana una luce rosea porporina; le Gorgonie del genere *Isis* danno una luce come di fuoco; vari pesci hanno, od ai lati degli occhi od in altre parti del corpo, aree fosforescenti.

È bene ricordare che, in generale, le conchiglie della zona abissale sono piccole, poco o punto colorate, sottili, traslucide; ed in ogni caso la *fauna abissale differisce sempre dalla fauna superficiale, ed ha una notevole uniformità in qualunque luogo si osservi*; ciò dipende dalla uniforme distribuzione della temperatura nelle grandi profondità oceaniche. Siccome poi la temperatura degli strati profondi è, come vedemmo, di circa 0°, così le *faune abissali hanno carattere polare.*

In fine, nelle grandi profondità non si possono far sentire le variazioni di calore, di clima ed altre che si hanno alla superficie, quindi gli animali che le popolano non possono risentirne alcun effetto, nè sono soggetti a modificare facilmente la loro struttura. Con questo fatto è in rapporto *la antichità relativa delle faune di mare profondo;* talchè, ad esempio, sopra 42 generi di polipai raccolti nella spedizione del Challenger, 20 sono noti allo stato fossile. La stessa antichità relativa osservammo anche negli animali che vivono nella zona dei coralli di mare profondo.

Specie animali estinte nel periodo attuale. — Nello studio della geologia storica avremo campo di vedere come molte specie siensi estinte nei periodi passati sulla superficie della terra; qui conviene ricordare alcune specie estintesi od in via di estinzione nell'attuale periodo.

A due o trecento anni risale la scomparsa dell'*Alca impennis*, uccello comunissimo prima di quell'epoca nella Scandinavia e nelle Fär-Öer (isole della Pecora).

I Dronti (*Didus ineptus*), uccelli comuni ai tempi di Vasco di Gama nelle Mascarene, sono estinti da circa due secoli.

Si estinse negli ultimi anni del secolo scorso la *Rhytina Stelleri*, un sirenoide simile al dugongo, il quale viveva nel Camciatca.

Scomparso dopo la venuta dell'uomo è il Mammut (*Elephas primigenius*), di cui si sono trovati, sepolti nel terreno gelato della Siberia, dei cadaveri con peli e carne; e lo stesso si dica per una specie di rinoceronte.

Il leone era comune all'epoca romana in Grecia, ora non vi esiste piú. Quasi distrutti in Europa sono i castori; l'orso ed il lupo, cosí comuni al principio del secolo sui nostri Appennini, ne sono stati sloggiati quasi completamente. Lo stambecco è ridotto, sulle nostre Alpi, a pochi individui; ed a pochi individui, che si trovano nelle foreste della Lituania, è oggi ridotto il bisonte.

Né occorre moltiplicare gli esempi.

LA VITA ORGANICA COME FATTORE DINAMICO

Azione degli animali e delle piante sulle terre emerse. — Fra gli agenti esogeni che concorrono a modificare la superficie della nostra terra, non occupano certamente l'ultimo posto gli organismi; infatti essi possono da soli originare depositi ingenti, quali i depositi di carbon fossile, di cui avremo occasione di dire in altra parte di questo libro, e formazioni veramente grandiose, quali sono le isole e le scogliere coralline.

Azione degli animali. — In generale gli animali sui continenti non danno origine a formazioni geologiche molto importanti; anzi, fatta eccezione per poche conchiglie lacustri o fluviatili e per poche ossa di vertebrati, quasi tutti

gli animali scompaiono senza lasciare traccia. Si possono ricordare per altro le ossa accumulate nel pavimento delle caverne nello strato stalammitico, o raggruppate in spaccature strette. È a tali cumuli di ossa che si debbono appunto le *brecce ossifere.*

Molto piú importanti sono i depositi di *guano*, il quale non è altro che una congerie potentissima di escrementi di uccelli marini, quali il *Larus modestus*, il *Rhinchops nigra*, il *Pelecanus Thagus*, la *Sula variegata*, ecc. Questi uccelli abitano sulle coste e nelle isole disabitate in cosi gran quantità, che quasi, quando si levano a volo, oscurano il sole. Talvolta alla formazione del guano concorrono anche gli escrementi dei Pinnipedi. Nel guano trovansi ossa degli uccelli sopra accennati e di alcuni piccoli Rosicanti; esso ha l'aspetto di una terra grigio bruna, se è vecchio, giallastra, se è giovane, e si adopera come ottimo concime. Sulle coste del Perù e su quelle delle isole Chincha (isole del guano) si hanno i piú rinomati depositi di questa materia.

Il guano è formato in gran parte da materiali solubili, che possono essere facilmente asportati dalle acque, ed in tal caso del guano non resta che un deposito di fosfato di calcio. Nel guano si trovano: acqua, solfato di sodio e di potassio, cloruro di sodio e di potassio, fosfati vari, acido urico ed ulmico, ammoniaca, ossalato di calcio, argilla, sabbia, ossido di ferro e diverse materie organiche. Talvolta esso si forma anche nelle grotte per opera dei pipistrelli.

All'azione dei fosfati solubili, che sono portati entro il suolo dalle acque, si deve in molti casi la formazione delle *fosforiti* (fosfato di calcio, sovente in forma di noduli), poiché quei fosfati agiscono sui calcari. A Quercy in Francia la fosforite si trova associata a numerose ossa di mammiferi; ma è probabile che la sua origine si debba a sorgenti fosforose e calcaree.

Altro importante lavoro lo compiono i lombrichi, che, inghiottendo la terra mista a residui vegetali, e rigettandola poi alla superficie del suolo come defecazione, formano un terreno vegetale per eccellenza.

Effetti atti a cambiare la topografia di una località sono dovuti ai castori, i quali, opponendo colle loro dighe ostacolo alle piene dei fiumi, possono trasformare le vallate in terreno paludoso.

E non è forse anche da considerarsi l'azione dell'uomo? Basti ricordare i terreni dei Paesi Bassi strappati all'invasione dell'oceano, i fiumi deviati, gli istmi tagliati, le colline distrutte, le montagne traforate, i laghi prosciugati e tutti gli altri grandiosi lavori, che ne attestano l'attività e l'intelligenza.

Azione dei vegetali. — I vegetali, nella formazione di estesi depositi alla superficie della terra, hanno una importanza assai maggiore di quella degli animali.

Fra tali depositi, quelli che meritano maggior considerazione sono le *torbiere*, le quali sono dovute alla lenta decomposizione di materie vegetali in località umide e paludose. Il prodotto di questa lenta decomposizione è la *torba*. Affinché questa si origini, è necessaria, nel maggior numero dei casi, una vegetazione acquatica, che formi un substrato su cui si possa sviluppare poi un ricco tappeto di muschi; tra questi particolarmente importanti sono quelli del genere *Sphagnum*, i quali hanno la proprietà di assorbire una gran quantità di acqua. Non è quindi necessario, allo sviluppo di una torbiera, uno strato acqueo, ché anzi essa può formarsi benissimo su terreni permeabili ed anche in pendenza, poiché gli sfagni assorbono e mantengono quella quantità d'acqua necessaria a formare lo strato umido, sul quale seguita lo sviluppo dei vegetali della torbiera. Crescendo continuamente, muoiono lentamente alla base, e, sotto lo strato acqueo da essi assorbito, avviene la lenta combustione, da cui si genera la *torba*.

Man mano che dalla superficie si va verso la profondità, l'alterazione è sempre maggiore, e la torba è più compatta. Alla superficie essa è tutta fibrosa e dicesi *torba muscosa*, più sotto è a *foglietti* e più scura, nera e *compatta* al fondo.

Le torbiere distinguonsi in *marine* e *terrestri*. Le marine si sviluppano negli estuari e nei delta paludosi (come quello del Po), nelle lagune e nelle maremme; le terrestri occupano laghi poco profondi ed a debole pendío, come a Varese in Brianza, a Bientina presso Lucca, oppure depressioni del suolo, come a Camerlata in vicinanza di Como, oppure le sponde dei fiumi che stagnano lateralmente, come al piano di Colico, oppure le pianure acquitrinose, ed infine anche i fianchi montuosi non troppo ripidi.

Oltre agli sfagni, vari altri vegetali concorrono a formare la torba, e fra questi i Muschi del genere *Hypnum*, le Ciperacee del genere *Carex*; anzi, in alcune torbiere, come in quelle della Terra del fuoco, mancano i Muschi, che sono sostituiti da piante Fanerogame (giunchi, sassifraghe).

Grandi torbiere si estendono in Olanda, ove si hanno alte e basse torbiere. Le basse torbiere, che si trovano sotto le dune, racchiudono anche resti di specie vegetali che in quelle località piú non vivono. Son poi notevolissime le torbiere dell'Irlanda, che occupano piú di un milione di ettari, con uno spessore medio di circa 8 metri. Nell'America, al nord della Florida, si trovano pure estese torbiere. Come ultimo esempio ricordo una torbiera pendente allo sbocco della valle del Piano verso S. Caterina di Val-Furva (Sondrio).

Le torbiere si possono anche originare per la distruzione di una foresta che abbia prodotto il ristagnarsi delle acque fra i tronchi abbattuti e gli altri detriti, come nelle paludi torbose di Lochbrom nel Rosshire e nelle foreste vergini del Brasile.

Formazioni vegetali importanti si debbono anche ai legni fluitati ed accumulati alla foce dei fiumi, come nel Mississippi, e poi sepolti nei fanghi del delta. Il Mackenzie, sboccando nel lago dello Schiavo, vi forma, coi tronchi fluitati, vere isole natanti, che, per la decomposizione degli strati inferiori, si trasformano in vera torba.

Azione degli organismi nell'oceano. — Azione degli animali. — *Sedimenti littorali e sedimenti profondi.* — Importante a considerarsi, perché agevola l'azione demolitrice del mare sulle roccie, è l'azione perforatrice esercitata sulle medesime dai litodomi e dalle foladi fra i molluschi; tale azione è, pei litodomi, favorita certamente da un agente chimico che è una sostanza acida corrosiva secreta da tali animali.[1] Anche Anellidi (*Sabella*) e Poriferi (*Vioa*) scavano meccanicamente dei fori.

Ma la funzione principale degli animali marini non è quella di agevolare la distruzione; anzi essi in prossimità del lido accumulano talvolta in cosí gran copia le loro conchiglie, da formare veri ed ingenti banchi. Cosí le ostriche ed i pettini formano depositi potenti su varie delle

---

[1] Le foladi agiscono meccanicamente, come lime; i litodomi per secrezioni acide.

nostre coste; ma sono principalmente i microscopici Protozoi quelli che concorrono ad originare estesi sedimenti. Così nel porto d'Alessandria le spoglie di Foraminifere hanno formato uno strato di 12 metri; e presso Gaeta il 50 % della sabbia è costituito dai loro gusci. Questa è anche l'origine del calcare nummulitico, che forma intiere catene di monti (fig. 52).

Ma assai maggiore è l'imponenza dei depositi che gli organismi animali inferiori formano nelle acque profonde.

A tutte le profondità comprese fra i 500 ed i 4200 metri circa, se l'acqua non è troppo fredda, né eccessivamente carica di acido carbonico, si trova, come vedemmo, un fango detto *fango a globigerina*, che risulta dalle spoglie di varie foraminifere a guscio calcareo, e particolarmente dei generi *Globigerina*, *Orbulina*, *Pulvinulina*. Questo fango manca in generale nei mari interni, e non si estende alle località polari. Le globigerine vivono alla superficie del mare, ed alla loro morte le loro spoglie calcaree cadono lentamente al fondo.

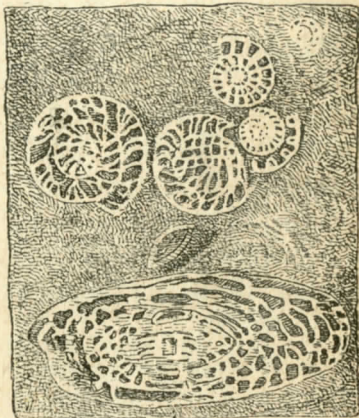



Fig. 52. — Sezione di un calcare con nummuliti, fortemente ingrandita.

Una gran parte del sedimento calcareo dei fondi marini è dovuto a piccolissimi corpuscoli calcarei, di forme circolari od ellittiche (*coccoliti*) o bacillari (*radioliti*), che sarebbero soltanto alghe di alto mare, viventi nelle correnti marine, e che cadono al fondo dopo morte.

Oltre i 4200 metri non si ha più fango a globigerine, ma un'argilla rossa, di cui già parlammo, dovuta in gran parte alla disgregazione dei gusci di globigerine, durante la loro lenta caduta, per opera principalmente dell'acido carbonico, che nelle profondità è in maggior copia che alla

superficie. A costituire quell'argilla rossa concorrono poi anche le ceneri vulcaniche più o meno decomposte.

A tutte le profondità, e persino a quella di 8000 e più metri, si trova un altro *fango*, di natura *silicea*, formato da resti di Radiolarie e da *spicule di spugne silicee.* Questi resti non sono attaccati dall'acido carbonico.

Le spugne silicee abbondano nelle profondità marine; e nel passato vissero in tanta copia da dare origine ad intiere roccie. Le Radiolarie invece vivono alla superficie del mare, e cadono al fondo solo dopo la morte.

Presso le coste, dalla mescolanza del fango a globigerine con la sabbia e col fango littorale, si origina l'*arenaria glauconitica.*

Formazioni coralline. — Una prova veramente splendida della potenza costruttiva degli animali marini l'abbiamo nelle *formazioni coralline*, che altro non sono che l'opera di organismi inferiori, ma un'opera così grande e potente da sviluppare scogliere ed isole intiere.

I coralli costruttori appartengono agli Antozoi; a loro si associano alcuni Briozoi, alcuni Anellidi del genere *Serpula*, ed alcune alghe calcaree, le *Nullipore*, di cui tra breve diremo.

Questi coralli non possono svilupparsi là ove la temperatura è inferiore a + 20° C.; ne viene che essi si sviluppano tra le due isochimene di + 20°. L'eccezione delle Bermude è dovuta alla corrente calda del Golfo; mentre le isole Galapagos, che sono situate sull'equatore, nel Pacifico, non hanno coralli perchè bagnate da una corrente fredda. Nel Mediterraneo mancano i coralli, meno alcune specie alle isole Tremiti nell'Adriatico. Essi non possono vivere ad una profondità superiore a 37 o 40 metri di acqua, perchè hanno bisogno di una discreta quantità d'aria disciolta nell'acqua ed anche di luce; nè muoiono se, durante la bassa marea, restano fuori dell'onde. Richiedono acque pure, e perciò non si sviluppano allo sbocco dei fiumi, per via dei fanghi che questi trasportano; ed è anche necessario che la costa su cui si sviluppano non sia a pendìo diruto, altrimenti mancherebbe loro la base di appoggio.

Notevole è la rapidità di accrescimento delle specie coralligene; ma non uguale per tutte, nè in tutti i luoghi. Esse secernono il loro scheletro calcareo, lottando contro la forza distruttiva del mare, poichè, proprio là dove il moto dell'onde è più violento, si svilup-

pano con maggiore potenza. Nello stretto di Torres, nel 1606, si contavano solo 26 isolotti madreporici; oggi ivi se ne annoverano piú di 150, in modo che è resa impossibile, ai bastimenti, la navigazione in quei paraggi. Uno scoglio di coralli, viventi presso l'isola Borbone, crebbe in 12 anni per ben 19 piedi di altezza.

Scogliere coralline. — Le formazioni coralline sogliono dividersi in due tipi, ossia: *scogliere coralline* ed *isole coralline.* Questa distinzione è, per dir vero, notevolmente arbitraria; nondimeno è comune l'uso d'indicare col nome di *scogliere coralline* o *madreporiche* quelle formazioni coralline che, a distanza maggiore o minore, servono, come di fascia ad una costa; anzi, se si presentano immediatamente in vicinanza alla costa, diconsi *scogliere frangenti* o *marginali*, se invece sono separate dalla costa da un canale piuttosto ampio, allora prendono il nome di *scogliere a diga* o *barriere.* Sono scogli frangenti, per la massima parte, quelli che cingono l'isola di Ceylon; sono scogli a barriera quelli che si estendono dirimpetto alla costa N-E. dell'Australia per una lunghezza di 1720 chilometri, lontani dalla costa, in alcuni punti, persino 80 chilometri.

È inutile dire che queste scogliere sono interrotte là ove le condizioni delle acque marine sono alterate, sia per afflusso di acque fluviali, sia per altre ragioni.

L'urto delle onde, rinnovando continuamente intorno alle scogliere le sostanze nutrienti ed i sali calcarei, favorisce notevolmente lo sviluppo delle specie coralligene; di piú, frantumando parte dei coralli, ne accumula i detriti negli intervalli delle colonie; e questi detriti, a poco a poco, diventano un forte cemento, atto ad aumentare la consistenza delle scogliere. Nel tempo stesso la parte emersa della scogliera, per opera degli agenti meteorici, si riduce in terreno atto a permettere lo sviluppo dei vegetali. Ad agevolare la riduzione in detrito, concorrono anche i vermi ed i molluschi perforanti, nonché alcuni pesci che, coi denti, stritolano i delicati calicetti dei coralli, ricercandovi la sostanza organica di cui si nutrono, aiutati anche da alcuni crostacei ed echinodermi.

Isole coralline. - Atolli. — Singolari per l' aspetto sono le isole coralline; esse presentano nel loro insieme la forma di un anello piú o meno perfetto, completamente o solo parzialmente emerso, racchiudente una laguna. Quando l'anello è completo, come nella fig. 53, allora l' isola corallina prende il nome di *atollo* od *isola a corona*.

Fig. 53. — Taiara, atollo circolare. Isole Tuamotu o Paumotu (Polinesia).

La fig. 54 rappresenta un atollo incompleto. Le due figure ci danno anche un' idea della forma tutt' altro che regolare di queste isole; poiché, pur essendo sempre costituite da una striscia di terra che rientra in sé stessa, esse possono essere anche quadrangolari, triangolari, arrotondate, allungate ecc.

La piattaforma di queste isole non ha mai una notevole larghezza, giacché varia dai 50 ai 600 metri, e supera di appena 3 metri il livello del mare; ed è da notarsi che le parti piú alte sono quelle che prospettano ai venti dominanti, e che, verso le lagune interne, si ha dolce il pendío, mentre i fianchi esposti all' oceano sono assai ripidi. La laguna interna, nelle piccole isole, può a poco a poco ridursi in secco, oppure trasformarsi in lago d'acqua dolce, se l' atollo trovasi in regione di abbondanti pioggie.

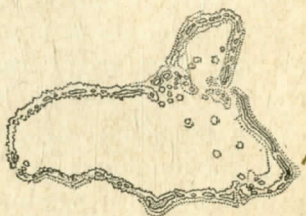



Fig. 54. — Gialuit, atollo con porto. Isole Ralick (Micronesia).

Dicemmo che la distinzione tra scogliere ed isole è arbitraria. Si prenda infatti come esempio l' isola di Bola-Bola nell'arcipelago di Thaiti. In essa si ha una barriera corallina che cinge una laguna, dal mezzo della quale si eleva una massa basaltica, un' isola centrale. Caso simile è quello della fig. 55. Si sopprima questa montagna, e la forma dell'atollo è perfettamente ricostruita. Ed a questa

Fig. 55. — Totoia, isola vulcanica circondata da un atollo. Isole Viti (Melanesia).

soppressione ha pensato infatti la natura; poiché, in seguito a lenti abbassamenti, la montagna è a poco a poco inghiottita dalle onde, mentre i coralli dell'anello, quando il movimento sia sufficientemente lento, seguitano la loro opera di costruzione verso l'alto.

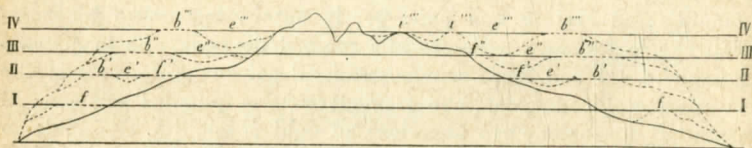
Teoriche sulla origine delle scogliere coralline. — Che gli atolli abbiano una tendenza ad acquistare la forma circolare è cosa chiara; ma perché hanno questa tendenza? È essa dipendente dai polipi costruttori per loro naturale istinto, oppure dipende dalla forma del fondo su cui le colonie si sono stabilite, o da altra causa? L'istinto non vi ha nulla a che fare, poiché non tutte le formazioni coralline hanno forma ad anello; la causa potrebbe dunque essere la forma del fondo. Infatti alcuni autori han detto che ogni atollo era una costruzione elevata dagli organismi costruttori sull'orlo di un cratere sommerso. Ma, per ammettere ciò, si dovrebbe supporre prima di tutto l'esistenza di una ingente quantità di crateri sommersi; di più, in generale, un cratere non può, per la natura incoerente dei materiali che lo formano, resistere alla forza delle onde, che lo distruggerebbero nel suo lento sommergersi. È poi anche da notarsi che vi sono atolli immensi, che richiederebbero quindi l'esistenza di crateri di dimensione ben superiore ad ogni possibilità. Già abbiamo visto che negli atolli la parte più elevata è opposta ai venti, ed accade tutto il contrario nei crateri, talché si giungerebbe all'assurda conclusione che nella parte più bassa del cratere si avrebbe il maggiore sviluppo coralligeno.

Il Darwin [1] ha discusso un'altra teoria, cui il Dana [2] aggiunse numerose prove, che spiega moltissimi dei fatti osservati nel fenomeno insulare coralligeno. Ecco questa teoria, che la fig. 56 serve ad illustrare. Un atollo non è, in origine che una scogliera frangente sviluppatasi all'intorno di un'isola. Quest'isola è soggetta ad un lento movimento di sprofondamento; ed i polipai, che non possono vivere ad una profondità superiore ai 40 metri circa, muoiono alla loro base, mentre seguitano a svilupparsi in altezza, essendo ciò consentito dal lentissimo abbassamento del fondo su cui poggiano. Così a poco per volta si giunge al caso dell'isola Bola-Bola, cioè ad una scogliera che cinge una laguna, nel mezzo della quale si eleva una mon-

---

[1] Carlo Darwin, celeberrimo naturalista inglese, nato a Shrewsbury nel 1809, morto a Down nel 1882.

[2] Giacomo Dana, notissimo scienziato americano, nato ad Utiva (N. York) nel 1813; geologo e mineralogista.

tagna. Proseguendo l'abbassamento, l'isola scompare dalla superficie del mare; ma la scogliera madreporica seguita ad accrescersi, e si ha cosí l'anello chiudente una laguna. Cosí si spiega anche bene la diversa pendenza verso l'oceano e verso la laguna interna: poiché, mentre verso l'interno, grazie all'appoggio offerto dalla terra insulare, i coralli possono svilupparsi non solo in altezza, ma anche in larghezza, all'esterno invece, mancando l'appoggio, lo sviluppo in larghezza non è possibile, e da ciò il ripido pendío. Si spiegano anche gli atolli secondari, che possono trovarsi nell'interno di recinti madreporici maggiori, come nell'arcipelago delle Maledive, riducendo ogni atollo secondario a formazioni sviluppatesi attorno a tante cime dell'isola sommersa. La teorica darwiniana è dunque basata sopra un graduale inabissamento del fondo del mare, lentissimo però, che permette alle onde di accumulare i detriti sulla piattaforma corallina ed elevarla al disopra dell'oceano; fatto questo al quale può ben concorrere anche un susseguente lentissimo movimento di sollevamento, come è ammesso dal Dana.

Fig, 56. — Genesi di un atollo (secondo Darwin) - *ff*, frangente madreporico, cresciuto intorno ad un'isola in via di abbassamento, essendo il livello marino corrispondente alla linea I, I - *f' f'*, *e' e'*, *b' b'*; *e'' e''*, *b'' b''*; *e''' e'''*, *b''' b'''* ed *i''' i'''*, posizioni e sviluppo assunti dallo stesso frangente in tre fasi successive di avvallamento, corrispondenti ai successivi livelli marini, II, II; III, III; IV, IV.

Notisi però che l'isola, attorno a cui incomincia la formazione coralligena, può essere di natura vulcanica; ed i coralli, sviluppandosi attorno al cono vulcanico, non sull'orlo del cratere, servono ad esso come cintura di protezione contro la violenza delle onde. A tale proposito conviene che sieno ricordate le osservazioni del Murray, il quale vide che le isole delle regioni coralline sono quasi tutte d'origine vulcanica, e pensò che all'attività vulcanica e non allo sprofondamento di un continente si dovessero tutte le disuguaglianze del fondo delle regioni coralline. Cosí, mentre alcuni vulcani si sarebbero spinti sino sopra alla superficie del mare per formare isole vulcaniche, altri, abbattuti dalle onde, si sarebbero ridotti in piattaforme sottomarine estese al limite inferiore in cui si sviluppano i coralli, e avrebbero servito di base alla formazione coralligena. Il Murray ha anche dimostrato che la ripidità esterna degli atolli è notevole fino ai 60 o 70 metri; ma, dopo, la pendenza diminuisce fino

a 360 metri di distanza orizzontale dalla cresta della scogliera ed a 300 metri di profondità, ove si trovano blocchi corallini strappati dalle onde; piú oltre trovansi sabbie coralline e finalmente detriti vulcanici. Queste osservazioni riducono la generalità della teoria di DARWIN; chè, se in molti casi la formazione degli atolli è dovuta indubbiamente ad uno sprofondamento, in molti altri il movimento del fondo non è necessario a spiegare la loro formazione; anzi basta la presenza di una piattaforma che permetta alle specie coralligene il loro sviluppo verso l'alto, offrendo loro una base. Su questa base lo sviluppo è maggiore alla periferia, perché ivi le acque libere offrono piú abbondante il nutrimento, mentre nel mezzo esso è scarso, e debole o nullo deve essere lo sviluppo dei coralli; da ciò la forma ad anello chiudente una laguna.

Distribuzione geografica delle isole coralline. — Quali potenti masse calcaree abbiano originato, anche in epoche passate, i coralli costruttori, lo vedremo in seguito; e vedremo anche che si sono una volta estesi sopra superficie assai piú ampia di quella su cui oggi si trovano.

È nell'Oceano Indiano e nel Pacifico, che principalmente si sviluppano le scogliere e l'isole coralline; e ricordiamo i grandi arcipelaghi corallini delle Maledive (13 atolli, con 150 isole abitate) e delle Laccadive, le isole Caroline, le isole Samoa (quasi tutte vulcaniche, ma cinte da scogli corallini) le Nuove Ebridi, le isole Paumotu, la grande barriera della Nuova Caledonia, l'arcipelago delle isole Marshall, ecc.

Azione dei vegetali nell'oceano. — Nel mare l'azione dinamica delle piante è piccola cosa; e quando si considerino la formazione di alcuni strati di torba, dovuta alla decomposizione di alcune alghe, e le incrostazioni dovute alle *Nullipore* ed alle *Coralline*, tutte le altre azioni dei vegetali nel mare, eccettuati i depositi silicei costituiti dalle *Diatomee*, sono in realtà trascurabili. Le Nullipore e le Coralline formano sulle coste del mare ingenti banchi di calcare; esse contengono carbonato di calcio nella membrana delle loro cellule, e si incrostano anche fortemente della medesima sostanza; e, crescendo associate, i vecchi individui morti servono di substrato ai piú giovani, talché

si formano tanti piani successivi, fino a costituire banchi di notevole spessore. Le secche di Chiaia e della Gaiola a Napoli sono dovute alle *litotamnie*; e la stessa origine ha avuto il calcare della Leitha, che serve alla costruzione degli edifizi di Vienna.

Nello stesso modo si formano nelle acque dolci grandi depositi di calcare dovuti a molti Potamogeti e Caracee; ed in molte sorgenti tali depositi sono l'opera di diversi muschi, come, ad esempio, l'*Hypnum falcatum.*

La microscopica *Gallonella ferruginea* è poi la principale promotrice della deposizione della *limonite* (idrossido di ferro) nelle acque ferruginose di molti stagni.

Alle Diatomee si debbono estesi depositi di fango siliceo, specialmente nel Pacifico meridionale; e ad esse, in unione con le Radiolarie, si deve anche la formazione del tripoli e della farina fossile. Quest'ultimo materiale forma una gran parte del sottosuolo di Berlino.

I FENOMENI ENDOGENI

Termografia interna. — I cambiamenti esterni di temperatura, la sensibilità e rapidità dei quali è notevole alla superficie del suolo, si fanno sempre meno sensibili e piú tardi man mano che ci si approfondisce nel suolo, finché si giunge ad uno strato ove la temperatura è *costante*, ossia tale da non essere soggetta alle oscillazioni esterne. Ognun sa che, scendendo d'estate in un sotterraneo, vi proviamo una sensazione di fresco, d'inverno invece una di caldo; e ciò perchè, nello strato di temperatura costante, questa sarà uguale alla media annuale del luogo, e quindi d'inverno superiore all'esterna, e d'estate invece inferiore.

Si intende che lo strato di temperatura costante non ha la medesima temperatura sotto tutte le latitudini, poiché, come sappiamo, non è dovunque uguale la media temperatura annuale; ed anche la profondità di detto strato è

diversa alle diverse latitudini, in relazione con la diversa escursione annua della temperatura esterna; ed infatti la profondità dello strato di temperatura costante aumenta dall' equatore verso i poli; e mentre all' equatore esso trovasi ad una profondità variabile fra 1 e 2 metri, verso le latitudini piú elevate si approfondisce fino a 30 metri. Queste variazioni non hanno luogo per altro in rapporto con la sola latitudine, ma dipendono da tutte le altre cause che influiscono sulla temperatura esterna, ed anche dalla conduttività termica del suolo nelle diverse località.

Se da questo strato di temperatura costante seguitiamo ad approfondirci nel suolo, la temperatura non si conserva inalterata, ma cresce. Dunque la terra non è soltanto soggetta alla influenza calorifica del sole, ma ha in sé stessa dell' energica termica, che si manifesta appunto con tale aumento di temperatura.

Intendendo per *grado geotermico*: « il numero dei metri di cui si deve discendere per avere l' aumento di 1° C. di temperatura », consideriamo le osservazioni fatte.

Nelle miniere metallifere tali osservazioni hanno dato risultati non tutti identici, poiché in alcune si trovò che la temperatura aumentava di 1° C. ogni 30 o 32 metri, in altre invece ogni 21 o 27 m.; in alcune miniere della Prussia ogni 54 metri $^1/_2$; ed in quelle della Sassonia la media di numerose osservazioni diede al grado geotermico il valore di 41,8.

La ragione di questa disparità nel grado geotermico dipende in gran parte dalla diversa conduttività delle roccie.

Nelle miniere di carbon fossile abbiamo la stessa diversità nel valore del grado geotermico; soltanto questo valore è inferiore a quello del grado geotermico nelle miniere metallifere: oscilla infatti da metri 15,50 a 26,75 ed, in casi eccezionali, a metri 39 e 41.

Nei pozzi artesiani il suo valore è di circa 30 metri. Ma senza prolungarci in esempi, dalle osservazioni fatte è risultata la scoperta di un altro importante fenomeno,

ed è che *il grado geotermico medio tende leggermente ad aumentare con la profondità.*

Capitale importanza per la determinazione del valore del grado geotermico hanno le osservazioni che si sono potute fare nei pozzi più profondi, come sono quelli Sperenberg al sud di Berlino e di Schladebach presso Lipsia (1748 metri) e nella grande galleria del Gottardo. Nel primo pozzo il grado geotermico medio è di metri 31,8 (a 1268 metri la temperatura è di 48° 1), nel secondo poco differente. Nel traforo del Gottardo il grado geotermico risultò di $48^{m}, 4$, con un massimo di metri 50,3; nel Cenisio fu determinato in metri 49,50.

Da tutto ciò risulta chiaro che la temperatura nell'interno della terra aumenta con la profondità; ma anche risulta che è assai difficile calcolare esattamente il valore medio del grado geotermico, in quanto che non si possono eliminare, ad esempio, le ossidazioni dei materiali nelle miniere di carbon fossile, la decomposizione delle piriti nelle miniere metallifere, la presenza di acque termali, provenienti da strati terrestri molto profondi; cause queste che tutte concorrono ad aumentare la temperatura, indipendentemente dal calore proprio della terra. Quindi bisogna accettare soltanto come approssimativa la cifra di 33 metri, designata oggi come valore medio del grado geotermico.

Il progressivo aumento della temperatura coll'aumentare della profondità, secondo alcuni autori, cesserebbe ad una certa profondità, per rimanere stazionario od anche diminuire. Ma i calcoli per cui il Dunker, fra gli altri, era giunto a tale conclusione, non erano esatti; è probabile quindi che l'aumento di calore sia continuo, e tale si mostra almeno per le profondità sino ad ora osservate, le quali, per altro, non superano i 200 m., talchè si può raggiungere un grado elevatissimo di temperatura.

Cenni sulle teorie relative all'origine del calore interno della terra. — Oggi gli scienziati sono d'accordo nell'ammettere, con Laplace, che l'aumento di temperatura coll'aumentare della profondità sia dovuto al calore di cui era provveduto il nostro pianeta allorquando si distaccò dal sole.

Insufficiente a spiegare il fatto è l'ipotesi ammessa da alcuni, cioè che il calore terrestre si debba alle reazioni chimiche che hanno

luogo nella terra. Nessun dubbio che questa ipotesi possa servire per alcuni casi speciali; ma non basta a spiegare l'universalità del fenomeno, poiché le reazioni chimiche sarebbero troppo deboli cause per tanta quantità di calore.

Riguardo al calore primitivo della terra, si ritiene che esso, come quello del sole, si debba ad un lentissimo aumento di densità, per cui, in seguito alla contrazione, si ha una vera trasformazione di energia meccanica in calore. Pel sole, la cui massa è distribuita in un volume così grande, basta la diminuzione di 0,0001 del diametro per sviluppare tanto calore quanto ne occorre per compensare le perdite di calore subite dall'astro in 20 secoli. Per la terra la proporzione è senza dubbio molto minore, anzi direi non paragonabile a quella del sole; ma nulla può autorizzarci ad ammettere che il calore terrestre non abbia origine uguale a quella del sole.

Ciò premesso, se la temperatura aumenta di tanto colla profondità, in quale stato si troverà l'interno della terra?

Se la temperatura aumenta di 1° C. ogni 33 metri, a 66 chilometri si avrebbe una temperatura di 2000°, atta a fondere tutte le roccie terrestri. La prima idea adunque che possa sorgere è che l'interno della terra sia fuso, e si citano i vulcani come prova di questa interna fusione. Attorno a questa massa fusa si troverebbe una crosta solida, di debole spessore rispetto alla dimensione della terra.

Ma il Hopkins dimostrò che il fenomeno di nutazione e quello di precessione degli equinozi (da noi già considerati) avverrebbero in modo assai diverso da quello in cui avvengono, se la terra fosse liquida internamente e con una sottile crosta alla superficie. È vero che non si tratterebbe realmente di uno stato liquido per le masse interne della terra, ma di uno stato vischioso; nondimeno l'obiezione di Hopkins ha una gravità notevole.

Di più come osserva il Thomson, se la massa interna della terra fosse fusa, dovrebbero in essa verificarsi delle maree; e, siccome queste non si verificano od almeno sono insensibili, se pure è fusa, la massa interna della terra deve avere una notevole densità.

Non dobbiamo poi dimenticare l'azione che la pressione esercita sulla fusione. Che la pressione nell'interno della terra debba essere notevole è indubitato; e si può calcolare un aumento di 2000 atmosfere per ogni miglio geografico di profondità. Il geologo inglese Fischer ha calcolato, per il centro della terra, una pressione di 3 milioni di atmosfere. Sperimentalmente si è provato che un aumento di pressione abbassa il punto di fusione per quelle sostanze che si dilatano passando allo stato solido, e lo inalza invece per quelle che nel medesimo passaggio si contraggono. E per questo si può concludere che, anche ad elevata temperatura, le roccie possono conservarsi allo stato solido per effetto della pressione potente cui sono soggette.

Nondimeno la questione è ancora lungi dalla possibile soluzione; e noi avremo campo di tornare su questo argomento, quando avremo parlato dei vulcani, i quali sembrano costituire, a prima vista, una palese contradizione con l'ipotesi della interna solidità della terra. Ma il loro studio ci dimostrerà come la contradizione non sia che apparente.

Sorgenti termo-minerali. — Una prova chiara che la temperatura aumenta con la profonditá ce la offrono anche le *sorgenti termali.*

Parlammo già delle sorgenti in generale, e ci siamo riserbati di dire adesso delle sorgenti termali e delle minerali, poiché, specialmente le prime, sono in rapporto coi fenomeni endogeni. Del resto la distinzione tra *sorgenti fredde* e *sorgenti termali* è piú che altro relativa alla temperatura dell'ambiente; e mentre soglionsi dire fredde quelle sorgenti la cui temperatura oscilla fra il minimo ed il massimo della temperatura ambiente, si dicono *termali* quelle la cui temperatura è notevolmente superiore alla media temperatura dell'aria.

Le sorgenti termali non vengono per solito alla luce lungo il piano di contatto di due strati, ma si fanno strada attraverso a fessure delle roccie. Non parliamo qui di quelle sorgenti che si trovano in intimi e manifesti rapporti coi fenomeni vulcanici, le quali possono bene essere calde senza provenire da grandi profondità (e ne parleremo piú qua); qui diremo solo di quelle che non hanno rapporti diretti coi fenomeni vulcanici attuali, e che, colla loro elevata temperatura, dimostrano di provenire da profondità considerevoli.

Ricordo ad esempio: le *Aguas de Camangillas* nel Messico, che raggiungono una temperatura di 96°,4, la *bollente* di Acqui che sale a ben 75°, le sorgenti di Carlsbad che hanno una temperatura di 75°, le sorgenti calde delle terme di Montecatini in Val di Nievole (Toscana).

Siccome le acque calde sono dotate di buona proprietà solvente, cosí le sorgenti termali sono inoltre, per la massima parte, *minerali,* ciò che non esclude che minerali possano essere anche le sorgenti fredde.

A seconda delle sostanze che tengono disciolte, si distinguono in: sorgenti *alcaline*, nelle quali domina il carbonato di sodio, *calcaree* se contengono del calcare, *saline* contenenti cloruro di sodio, solfato di magnesio e di sodio, *silicee* contenenti silice, *solforose* che sviluppano idrogeno solforato, *ferruginose* contenenti minerali ferriferi, *acidule* in cui predomina l'acido carbonico. Ciò vale anche per le acque minerali non termali.

Questa distinzione è, per vero dire, notevolmente convenzionale, poiché le acque minerali presentano una costituzione chimica complicatissima. Esse hanno una grande importanza per le loro azioni, poiché, tenendo in soluzione dei minerali sottratti alle roccie che attraversano, e diminuendo di temperatura man mano che si elevano nel loro condotto, depositano sulle pareti di questo una quantità di minerale, e lo incrostano, finché, per successivi depositi, non lo riempiono totalmente per formare un *filone*. Questi minerali deposti possono essere diversi nello stesso condotto; inoltre, per la presenza dell'acqua, si sviluppano delle correnti elettriche, che determinano cambiamenti chimici nei minerali stessi, divenendo causa della formazione di nuovi composti.

In alcune sorgenti, come ad esempio nelle solforose, la decomposizione ha luogo in contatto coll'aria. Cosí l'idrogeno solforato si decompone, perché l'idrogeno si combina coll'ossigeno a formare l'acqua, e il solfo precipita. È probabile però che tale reazione sia un poco piú complessa, poichè pare vi entri indirettamente anche l'azione del carbonato di calcio. È questo il caso del laghetto delle acque Albule presso Tivoli, ove, insieme all'idrogeno solforato si sviluppa anidride carbonica, e si forma solfato di sodio, di magnesio, di calcio e carbonato di calcio. A San Filippo ed a San Vignone in Toscana si formano masse potenti di carbonato di calcio e di selce per opera delle sorgenti termali che ivi sgorgano. In 20 anni, a San Filippo, si è formato uno strato di pietra dello spessore di 9 metri.

La sorgente di Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne),

colle sue acque, principalmente contenenti solfati e cloruri alcalini ed altre molte sostanze, ha esercitato la sua azione sovra varie medaglie ed oggetti di bronzo, d'oro, di piombo, sepolti in un pozzo di origine romana, formando numerosi minerali.

Le sorgenti termominerali non solo originano adunque filoni, ma sono anche capaci di decomporre, alterare, trasformare le sostanze che bagnano, le quali possono in qualche caso essere resti della industria umana, ma in tutti i casi poi sono soltanto i minerali che compongono la nostra terra.

I VULCANI

Le sorgenti termali e le osservazioni fatte nelle miniere e nei pozzi artesiani ci porgono testimonianze certe di una attività calorifica che ha sede nell'interno della nostra terra.

Ma, non soltanto dall'osservare che il calore aumenta colla profondità, in passato, ed anche oggi, alcuni scienziati furono e sono ancora indotti ad ammettere l'esistenza di una massa liquida interna. Tale concetto ebbe origine anche dalla osservazione di altro maggiore e più appariscente fenomeno, quale è quello della vulcanicità.

« Un vulcano non è che una spaccatura del suolo, che mette in comunicazione l'esterno con l'interno della terra, ed attraverso alla quale si fanno strada sostanze gassose, liquide e solide ad elevatissima temperatura ».

Definire, come fanno molti libri di geografia, un vulcano come un monte che gitta fuoco, vapor d'acqua e materie incandescenti, è un errore, giacché la montagna vulcanica non è condizione necessaria alla formazione di un vulcano, ed anzi esso si forma specialmente nelle linee di depressione. Il monte vulcanico non è che la conseguenza della attività vulcanica, poiché, come vedremo, si forma in seguito all'accumularsi dei materiali che dalla spaccatura sono lanciati fuori, e costretti a ricadere attorno

a questa. Da ciò appunto deriva la forma conica delle montagne vulcaniche (fig. 57), troncate alla vetta, ove si apre l'orifizio di uscita, in forma di bacino di varia ampiezza, cui si dà il nome di *cratere*.

Al cratere fa immediatamente seguito il *condotto*, risultante dalla riunione di più fessure del suolo od anche di una sola, attraverso alle quali ascendono le materie elaborate nell'interno del suolo, nel così detto focolare vulcanico, il quale non raggiunge mai grandissima profondità.

Caratteristica di un vulcano non è adunque la montagna; poichè, se vi sono vulcani alti perfino 6000 metri e più, sonvene anche che si elevano pochi metri, e di quelli

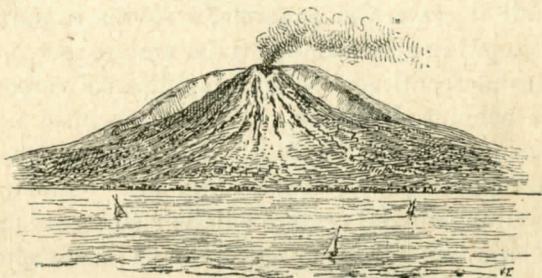



Fig. 57. — Il Vesuvio, visto dal mare. Dietro si scorge il Monte Somma.

che non sorpassano nemmeno il livello del mare, ma che sotto le onde spiegano la loro attività; sono invece condizioni necessarie per l'esistenza d'un vulcano: l'eruzione di sostanze solide ad elevatissima temperatura, la successione di parossismi più o meno violenti e di periodi di quiete ad intervalli più o meno lunghi. Da ciò viene, come necessaria deduzione, che il vulcano presenta varie fasi di attività, o, per meglio dire, presenta alcune fasi di attività, seguite da una fase, di varia durata, di riposo assoluto; riposo apparente, ben inteso, chè l'interno lavorío mai non resta dall'operare; e, in generale, quanto più sia lungo il periodo di quiete, con tanta maggiore violenza e tanto più d'improvviso il vulcano riprenderà la sua spaventosa attività.

Si possono considerare, in generale, tre fasi di attività ed una di estinzione. Le prime sono: *la fase di esplosione* o *pliniana*, *la fase di deiezione* o *stromboliana*, *la fase di emanazione* o *di solfatara.*[1]

Fase di esplosione. — La fase di esplosione segna il formarsi di un nuovo vulcano od il ridestarsi della attività di un vulcano, il quale giacque in apparente riposo per un certo numero di anni. Questa fase è preceduta da scosse di terremoto, deboli da prima e violentissime poi, da boati sotterranei, da diminuzione nel getto delle sorgenti e dei pozzi vicini, dallo squagliarsi delle nevi che a molti vulcani ricuoprono le cime, dall' aumentare di numero e di forza dei getti di vapore, che escono con sibili e rombi dal cratere. Quindi il cratere si squarcia, e rovina in parte, mentre sono lanciati in aria frammenti del cratere stesso, blocchi di lava incandescenti, e si solleva rapidissima verso il cielo una densa colonna di vapori, che, espandendosi nella sua parte superiore, offre la figura di un pino colossale, d'onde appunto il nome di *pino vulcanico* (fig. 58). Contemporaneamente si sviluppano dal cratere e dalle spaccature del suolo anidride solforosa, idrogeno solforato ed acido cloridrico.

Non vi ha chi non abbia sentito ricordare la famosa eruzione del Vesuvio avvenuta nell' anno 79, che distrusse e seppellí Ercolano e Pompei, e che fu cosí bene descritta da Plinio il giovane nella sua celebre lettera a Tacito. E fu appunto Plinio il giovane, che per primo paragonò ad un immenso pino la colonna di vapori che il Vesuvio aveva lanciato verso il cielo.

Nella eruzione del 1822, il pino vulcanico del Vesuvio era alto ben 3000 metri; e nella grande eruzione del 26 giugno 1877 il Cotopaxi, uno dei piú colossali vulcani americani, originò un pino alto 10.000 metri. Nella eruzione del Cracatoa (1883) il pino giunse sino ad 11.000 metri di altezza.

---

[1] Non tutti i vulcani presentano per altro queste tre fasi, nè sempre in quest' ordine di successione.

Il pino vulcanico, nero di giorno, ma infuocato di notte perché riflette la luce della lava incandescente, è continuamente attraversato da ogni parte da lampi, con incessante rombo di tuono. L'eruzione è anche accompagnata da vere fiamme, dovute a combustioni di gas in presenza dell'ossigeno atmosferico. Spesso dalle nubi cariche di vapore, che si accumulano sul vulcano e ne avvolgono la vetta, nonché dal pino vulcanico stesso precipita una violentissima pioggia, che, scorrendo sui fianchi del monte e

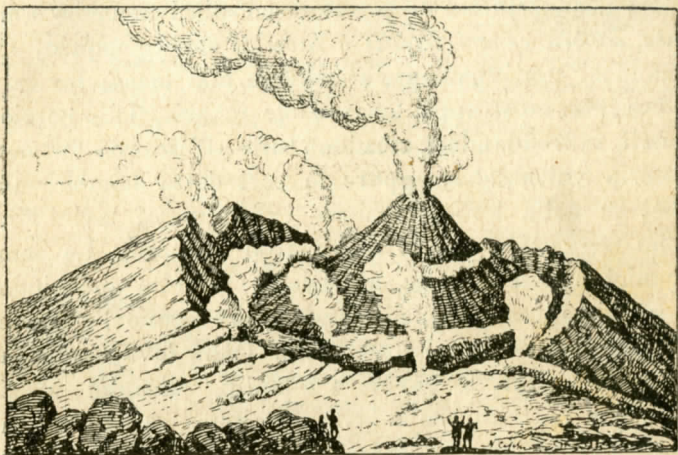



Fig. 58. — Aspetto del cono terminale del Vesuvio nell'anno 1775. (dal Baratta).

riunendosi nelle insolcature, nelle forre, nelle ripide valli, mescolata alla cenere, ai lapilli, ai blocchi di minor dimensione, si rovescia verso le falde con tale impeto, da riuscire apportatrice di gravi danni e di spaventevoli disastri.

La formazione del pino, e quindi la ingente quantità di vapore acqueo e di altri materiali lanciati in aria dal vulcano, e, come vedremo tra breve, l'ascesa della lava nel camino vulcanico, attestano che *la causa occasionale della esplosione vulcanica è il vapore acqueo.* Infatti noi sappiamo bene che l'acqua può infiltrarsi fino a grandi pro-

fondità nella terra, e comprendiamo che, trasformandosi ivi in vapore in conseguenza della elevata temperatura che vi regna, deve esercitare una potente pressione sugli strati sovrapposti, come anche deve spingere in alto le masse eruttive. Allorquando la tensione del vapore acqueo supera la resistenza degli strati sovrapposti, l'esplosione ha luogo. Si vuole però che non tutta l'acqua si trasformi in vapore nelle profondità terrestri, ma che una parte divenga tale solo a poca profondità e rapidamente; ed a questa rapida trasformazione si dovrebbe la violenza dell' esplosione.

Il vulcano emette nella sua fase esplosiva anche *scorie*, *bombe*, *sabbie*, *ceneri*, *lapilli* e *lave*. Il vapore acqueo, sprigionandosi continuamente attraverso alla massa lavica incandescente, ne strappa, lanciandole in aria, delle porzioni, le quali, raffreddandosi, ricadono tutte all' intorno formando le scorie vulcaniche, oppure le così dette bombe vulcaniche, se nella loro proiezione i frammenti lavici fluidi furono soggetti a rapido movimento rotatorio. Le bombe vulcaniche hanno forma affusolata; talvolta racchiudono dei gas compressi, che, dilatandosi, provocano l'esplosione della bomba; da ciò il loro nome. Dalla lava hanno pure origine le ceneri, le sabbie e i lapilli vulcanici, specialmente per l'attrito che le lave esercitano tra loro e con le pareti dell' orifizio vulcanico. Le ceneri vulcaniche sono polveri finissime (se più grosse si dicono propriamente sabbie; lapilli sono i piccoli frammenti grossi come un pisello od una nocciola) grigiastre, costituite dagli stessi minerali di cui è formata la lava dalla quale derivano. Quelle del Vesuvio sono principalmente di augite e di leucite. La quantità delle ceneri può essere tale da formare attorno al cratere ingenti depositi: attorno al Vesuvio giungono sino a sei metri di spessore.

Le ceneri vulcaniche sono talvolta trasportate dai venti a distanze enormi. Nella grande eruzione vesuviana del 1631, le ceneri caddero fino a Taranto ed a Cattaro; quelle dell'eruzione del 472 furono portate sino a Costantinopoli.

Le lave non fanno parte, in generale, dei materiali

eruttati nella prima esplosione di un vulcano; anzi non mancano esempi di violente eruzioni senza alcuna emissione di lava. Ordinariamente l'emissione di lava segna il termine della fase esplosiva violenta.

Fig. 59. — Inclusioni vetrose nel feldispato Labradorite del Basalto di Monte Pilieri all' Etna.

L'idea che le lave siano roccie fuse è antica, né da tutti gli autori moderni ancora abbandonata; è da ritenersi invece che le lave non sieno roccie fuse, ma ammassi di cristalli roventi tenuti insieme da acqua allo stato sferoidale. Soltanto quando la lava è eruttata, almeno negli strati superiori, l'acqua evapora rapidamente, ed i cristalli roventi vengono a contatto, si conglutinano e fondono, originando vetri vulcanici. Per la grande somiglianza delle lave degli attuali vulcani con le roccie basaltiche e le trachitiche (e basalti e trachiti non sono che lave di antichi vulcani) le lave si distinguono in due categorie, che sono appunto le *lave basaltiche* e le *lave trachitiche*. Le prime sono oscure e principalmente costituite da augite e da feldspato plagioclasico, il quale può essere sostituito da leucite da nefelina, da sodolite; le seconde, ossia le trachitiche, sono di colore chiaro e contengono prevalentemente oligoclasio ed ortoclasio. Le lave, come le altre roccie, si distinguono anche, a seconda della loro acidità, ossia della proporzione di silice che contengono, in lave acide e lave basiche. Sono lave basiche le basaltiche; esse fondono a circa 1000° C., dando una massa poco scorrevole, che diventa vischiosa ad una temperatura di poco inferiore; sono acide e molto meno fusibili, ma più fluide, le trachitiche, che fondono a circa 1600° C.

Fig. 60. — Inclusioni nella Leucite della lava del Vesuvio.

Tutte le lave contengono un numero grandissimo di minerali; quelle del Vesuvio ne contengono almeno 13. Ed i minerali che costituiscono le lave sono spessissimo ricchi di inclusioni. Le figure 59 e 60 ne sono esempi.

L'uscita delle lave può verificarsi o per traboccamento dai margini del cratere, o per fessure aperte nei fianchi

della montagna; di rado la lava può spingersi in alto a guisa di fontana. Questo ultimo caso si verificò nel Mauna-Loa (isole Havai) nell'eruzione del 1866, in cui il getto di lava era alto 330 m. e largo 30 metri. Negli elevati vulcani specialmente, è caso frequente l'emissione di lave per spaccature laterali. La lava, che sale lenta nel condotto vulcanico, esercita una potente pressione sui lati, ed è spinta a farsi strada attraverso alle fessure che esistono nel cono vulcanico, o, se non esistono, le forma. Nel 1669 l'Etna si squarciò sopra una lunghezza di 20 chilometri, con una fessura larga 2 metri. Nel 1872 il cono terminale del Vesuvio si aprí completamente da cima a fondo. Ben si capisce che, da queste fessure laterali, primi ad uscire sono i vapori, e con essi scorie, lapilli, ceneri, tutti i materiali insomma che caratterizzano l'esplosione; ed è quindi logico che si formino lungo queste spaccature delle serie di *coni secondari* o *parassiti* od *avventizi*.

Piú rare, quando non si tratti di vulcani non molto alti, sono le emissioni di lava dal cratere terminale. Il colossale Cotopaxi (6000 metri) mostrò tale fenomeno nel 1877; l'Etna lo ha mostrato piú volte; è caso frequentissimo nel Vesuvio. Ivi nel novembre del 1867 la lava uscí abbondante da quattro bocche interne del cratere, e si fece poi strada per tre diversi punti del cratere stesso.

Talora la lava, uscita dal cratere con violenza, giunta che sia ad un luogo ove si presenti un improvviso dislivello, si precipita a guisa di una cascata di fuoco, dando cosí origine ad uno dei piú imponenti spettacoli che occhio d'osservatore possa ammirare.

Il fatto accadde nel 1855 pel nostro Vesuvio, ed accadde anche nel 1865 per l'Etna, in cui, al monte Stornello, la lava si slanciò in cascata da un dirupo alto 60 metri (Salto di Cola Vecchia), e riempí in poco tempo la sottoposta valle.

La velocità con cui scorrono le lave sui fianchi del cono vulcanico è varia a seconda della fluidità della colata, della importanza della massa lavica e della pendenza del terreno; esse hanno temperatura elevata, ed il calore che irra-

diano basta a carbonizzare le piante vicine e ad incendiarle, a fondere il rame e l'argento, a distruggere addirittura le case ed i paesi in cui si imbattono. La quantità di lava emessa da un vulcano raggiunge talora proporzioni enormi. Ad una ingente colata di lava si dovette la distruzione di Torre del Greco nel 1794 (fig. 61). Si raffreddano le lave rapidamente alla superficie, ma nell'interno conservano a lungo elevata temperatura. La lava del Jorullo, nel Mes-

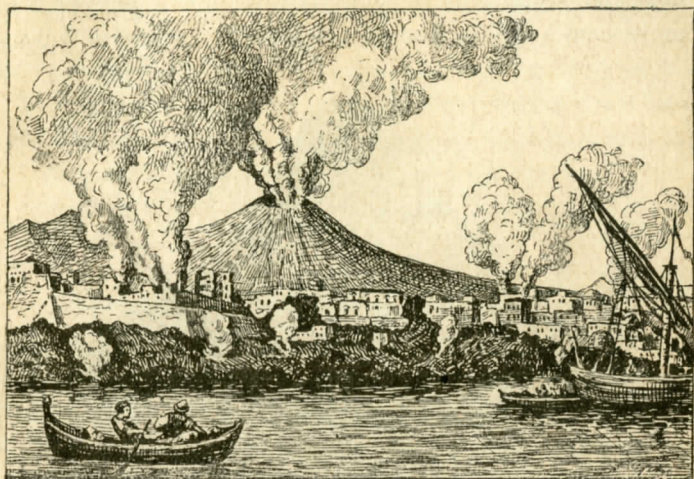



Fig. 61. — Torre del Greco distrutta da una corrente di lava nell'eruzione del 1794 (dal Baratta).

sico, era ancor calda 50 anni dopo la eruzione del 1759. In seguito al rapido raffreddamento superficiale essa si ricuopre di scorie, che, conglutinandosi, formano una specie di volta alla corrente di lava; e, cessata l'emissione di lava, la massa liquida sottostante alla volta solida scorre via, e si forma così una vera galleria dalle pareti di lava solida; esempi se ne hanno frequenti alle Azzorre. Le lave basaltiche raffreddandosi danno origine a specie di colonnati, come quelli dell'isola di Staffa in Scozia e

dell'isola dei Ciclopi nella baia di Trezza (provincia di Catania) (fig. 62).

Un fenomeno importante è quello delle eruzioni di fango. Si tratta di ingenti colate fangose, che scorrono lungo i fianchi della montagna vulcanica, apportando rovine ovunque passano. Non vi ha dubbio che in molti casi queste inondazioni fangose sieno dovute, come sopra dicemmo, alle pioggie prodotte dai vapori del pino, od allo squagliarsi delle nevi che ricuoprono la cima di molti vulcani e che si mescolano alle ceneri ed ai lapilli; ma è pur vero che in molti casi è dall' interno del cratere che è uscito il fango.

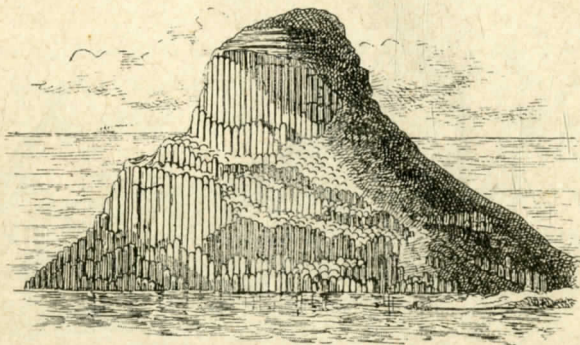



Fig. 62. — Basalti dell' isola dei Ciclopi nella baia di Trezza, provincia di Catania.

Il Lyell ricorda la eruzione fangosa del Galong-Gung in Giava; e lo Stoppani crede che Pompei sia appunto rimasta vittima di una eruzione fangosa. Né solo fango, ma acqua bollente eruttò il Vesuvio nella celebre eruzione del 1631.

Tra i prodotti delle eruzioni vulcaniche dobbiamo ricordare anche le *ossidiane*, le *pomici*, i *tufi*. L'ossidiana ha colore scuro ed aspetto vetroso; la pomice è un vetro biancastro, tutto rigonfiato dai vapori, e leggiero tanto da galleggiare nell'acqua; il tufo è costituito da sabbie e ceneri vulcaniche cementate dalle acque. Si conoscono diverse varietà di tufo, fra cui il *tufo di Posilipo*, giallastro, ricco di resti animali e vegetali, comune presso Napoli, ed il *peperino*, grigio cinereo, comune nei monti Albani. Il tufo delle Puglie ha tutt' altra origine, nè va confuso col tufo vulcanico.

Si trovano poi, tra i prodotti vulcanici, quasi tutte le sostanze, anche le meno comuni, che fanno parte delle acque marine; molte di queste sono allo stato gassoso, o sono disciolte nelle acque, o sublimate sul cono vulcanico. Cosí il cloruro di sodio, cosí il sale ammoniaco; e questo talora in grande abbondanza. Fra i gas si trovano anche idrocarburi; e tanto questi, quanto le sublimazioni di sale ammoniaco, possono indurre a credere che colle acque del mare, che hanno uno dei principali uffici nel fenomeno eruttivo, giungano al focolare vulcanico anche sostanze organiche.

Fase stromboliana. — Questa fase incomincia quando, dopo il primo scoppio violento, il vulcano emette lungamente e con tranquillità relativa la lava dalla sua sommità. Ben si intende che non si può fissare il momento in cui cessa la fase pliniana ed incomincia la stromboliana; né tutti i vulcani presentano la fase stromboliana; cosí il Jorullo dopo una violentissima eruzione divenne inattivo.

Questa fase è caratteristica nel vulcano Stromboli; d'onde appunto il nome. Questo vulcano è alto 925 metri, e provvisto di un cratere di un diametro di 725 metri. In questo cratere, sino da tempi preistorici, ribolle continuamente la lava; essa sale fino ad un' altezza variabile, finché si gonfia formando grosse bolle, le quali scoppiano, gittando tutto intorno una pioggia di scorie e di cenere; quindi la lava si abbassa di nuovo, per rialzarsi in seguito, quando la pressione dei vapori vince la resistenza che essa oppone alla loro salita.

Nel cratere del Kilauea, cono laterale del gigantesco Mauna-Loa nell' isole Havai, il fenomeno è assai piú grandioso. Questo cratere, che ha 12 chilometri di circuito, presenta verso la estremità sud-ovest un lago di lava in continua ebullizione; talora la lava vi si solleva in modo da occupare anche il gran cratere. Il nostro Vesuvio si è presentato piú volte in stato di attività stromboliana, talché il fenomeno non è caso particolare ad alcuni vulcani, solo è varia la durata della fase. È vero, ripetiamo, che in molti vulcani, specialmente dell' isola di Giava, si passa dalla fase esplosiva a quella di solfatara, senza l' intermezzo della fase stromboliana.

Fase di solfatara. — Questa fase è caratterizzata da semplice sviluppo di gas e di vapore acqueo; non vi sono né esplosioni, né ribollimento di lava; il cratere e le spaccature del cono sono chiusi dalle scorie conglutinate, solo da varie aperture emanano vapori e gas. Questi non solo si sviluppano dal cratere, ma anche dalle correnti di lava che si consolidano, ciò che induce a credere che tali emanazioni o *fumarole* non sieno che una manifestazione della attività della lava, anziché una diretta manifestazione della attività del focolare vulcanico. Le fumarole contengono cloruri alcalini, acido cloridrico, anidride solforosa, anidride carbonica, idrogeno solforato, ed hanno temperatura dai 100° ai 400°, ed anche 1000°.

Caratteristico prodotto della eruzione vulcanica è l'anidride carbonica, di cui riparleremo trattando delle *mofete*; ma, oltre a questo ed agli altri gas sopra citati, si sviluppano anche idrogeno ed idrocarburi. La presenza di questi spiega a sufficenza le fiamme vulcaniche, la cui esistenza è ormai accertata.

Per sublimazione poi si depositano sulla lava: ferro oligisto, acido borico, cotunnite (cloruro di piombo), realgar, orpimento ecc.

Fase di estinzione. — Man mano che le fumarole scompaiono, il cratere si riveste di una boscaglia ed il vulcano sembra estinto. Sembra! perché da un momento all'altro può riprendere la sua spaventevole attività, lanciando all'aria la sua cima, e seminando lo sterminio e la morte nelle contrade che lo circondano. Il Vesuvio, prima del 79, almeno in tempi storici, non aveva dato segno della sua attività; e dopo quella tristamente memorabile eruzione ha avuto successivi periodi di parossismi e di riposo. L'Epomeo, nell'isola d'Ischia, eruttò potentemente dal 45 al 36 a. C.; poi fino al 1302 fu estinto. Il Cracatoa nell'isole della Sonda dal 1680 pareva estinto; scoppiò producendo disastri immensi nel 1883. Lo storico Ararat, che mai l'uomo aveva visto attivo, eruttò nuovamente nel 1840. Ma è inutile prolungarci in esempi.

Un vulcano estinto è un gigante che dorme; e può dirsi che quanto piú lungo è il sonno, tanto piú furioso sarà il suo risveglio.

Ma non vi sono adunque vulcani estinti? Sí certo; e trattasi di vulcani che arsero in epoche diverse dalla nostra; ed è a notarsi che questi trovansi oggi a distanza piú o meno notevole dalle spiaggie, al contrario degli attivi, che hanno sede principalmente presso le spiaggie. Ne vedremo esempi nella Geologia storica.

Formazione delle montagne vulcaniche. — Sappiamo già che le montagne vulcaniche presentano aspetto conico, essendo esse formate dall'accumularsi delle lave e dei detriti lanciati dai vulcani. È raro che soltanto la lava concorra a formare un cono vulcanico; ed in tal caso, per la fluidità della lava, che facilmente tende ad espandersi, il

Fig. 63. — Sezione schematica di un cono vulcanico misto. - *d*, detriti. - *ll*, lave. - *tt*, tufi (dal Credner). I numeri indicano l'inclinazione.

cono ha una larga base con debole pendenza. Il Mauna-Loa ed il Mauna-Kea, alti dai 4200 ai 4300 metri, ci offrono tal caso.

I coni di detriti, dovuti all'accumularsi di scorie, di blocchi di lava, di lapilli e di ceneri, hanno una pendenza molto maggiore, compresa fra 35 e 45 gradi. Ce ne offre un esempio il cono del Cotopaxi.

Comuni sono poi i coni costituiti da detriti e da lave (fig. 63), di cui si ha un bell'esempio nel vulcano Rangitoto (Nuova Zelanda). Nell'Etna e nel Vesuvio, gli strati formati per sovrapposizione di detriti sono iniettati da lava che forma una specie di filoni detti *dicchi*. Sono rinomati i dicchi del Somma (Vesuvio), che si vedono all'Atrio del Cavallo. I dicchi servono come di ossatura alla montagna vulcanica, aumentandone la consistenza.

È bensí vero che molti vulcani hanno a poco a poco perduta la regolare forma conica, ed il Fuchs ricorda appunto fra gli altri, a tale proposito, la cresta frastagliata dell'Hekla (Islanda) e le giogaie dello Scivelutsc (Camciatca). La maggiore irregolarità della forma si rinviene nel cratere.

Le dimensioni dei coni vulcanici possono essere svariatissime, giacché si va da coni piccoli, come quelli avventizi del Vesuvio e dell'Etna, a veri colossi. Notisi poi che le dimensioni possono ben variare col succedersi delle eruzioni. Il Vesuvio aumenta e diminuisce continuamente la sua altezza; oggi è di circa 1250 metri; l'Etna raggiunge i 3400; il Fusiiama nel Giappone è alto 3730 m.; l'Erebo nelle regioni polari 3900 metri; il Cotopaxi 5900 metri, ma il vero cono vulcanico incomincia a 2000 metri; il Gualatieri in Bolivia ha 6700 metri, ma il cono non è in realtà che 3700 metri. Il cono piú alto pare sia quello del Sopka (Camciatca) che, sopra una base di 330 chilometri di circuito, si eleva fino a 4804 metri.

I crateri. — Il cratere vulcanico originariamente non è altro che la fessura del suolo, dalla quale escono i materiali interni; ma in seguito, per l'accumularsi di questi materiali, il cratere acquista la forma di una cavità tondeggiante, forma che può variare e che dipende in generale dall'esplosione. Per solito il cratere è centrale, ma può anche essere laterale, o fatto a ferro di cavallo, come nell'isola d'Ischia ed in molti vulcani dell'Alvernia, ora estinti.

La dimensione del cratere non dipende dalla maggiore o minore elevazione della montagna vulcanica, poichè vi sono vulcani altissimi con cratere di piccolo diametro, e bassi vulcani con crateri di diametro enorme. Cosí il Sindoro (Giava) alto quasi 3300 m. ha un cratere del diametro di 100 m.; di 500 m. è il diametro di quello dell'Etna (3400 m.); di 7000 m. quello della *Caldera* dell'isola di Palma (Canarie), alto poco piú che 2000 m. È vero che, in parte, tale estensione è dovuta all'azione meteorica.

La stabilità del cratere è grande se è formato di lava; ed è per questo caratteristico il cratere del Pizzo della Fornace nell'isola della Riunione, profondo circa 280 m., formatosi pel succedersi ed il sovrapporsi di molte colate di lava.

Altri crateri sono dovuti ad uno *sprofondamento*, come quello del Kilauea ed il cratere del Mauna-Loa stesso. Diconsi poi crateri di *esplosione* quelli dovuti allo sventrarsi della montagna in seguito ad una violenta eruzione. Tale è il cratere che si formò nel Cracatoa nel 1883. Così il Somma nel Vesuvio non rappresenta che il recinto di un cratere di esplosione nel mezzo del quale sorse poi il nuovo Vesuvio (fig. 57 e 64).

Quando nel cratere di un vulcano estinto si accumulano le acque, si forma un *lago-cratere*. I laghi di Albano e di Nemi, quelli di Bolsena e di Bracciano non sono che laghi-crateri; e considerando le loro non piccole dimensioni, si può ben intendere la violenza delle esplosioni che originarono tali crateri.

Fig. 64. — Topografia del Vesuvio nella proporzione di 1 a 100.000.

Teorica dei crateri di sollevamento. — Non possiamo chiudere questo argomento senza ricordare una antica teoria che per molti anni ebbe il predominio nelle scienze geologiche: la teoria dei *crateri di sollevamento*. L'esistenza di un recinto attorno al cratere attivo fece sì che molti autori vi fondasssero una teoria, per cui si spiegherebbe la formazione dei crateri e dei monti vulcanici ben diversamente che coll'ammetterli formati dalla accumulazione dei materiali eruttivi. Così il Monte Somma non sarebbe stato formato per uno sprofondamento causato da una violenta esplosione, bensì per opera di un sollevamento; talchè il suolo si sarebbe da prima gonfiato a

forma di ampia bolla, e poi squarciato, formando l'abisso crateriforme. Benché a questa teoria si associno i nomi del DE-BUCH e dell'HUMBOLDT, nondimeno essa manca dell'appoggio dei fatti. Il Monte Nuovo, sorto nei Campi Flegrei, in vicinanza di Napoli, nel 1538, che è invocato in appoggio della teoria dei crateri di sollevamento, si mostra essenzialmente costituito da materiali detritici, e nulla vi accenna ad una primitiva intumescenza del suolo. L'esame attento del Somma porta alla conclusione che esso non è se non un antico cono detritico, la cui sommità sprofondò nel 79.

Vulcani sottomarini. — Tutto ciò che abbiamo detto é relativo a quei vulcani che inalzano i loro coni sui continenti e sulle isole; ma in seno all'oceano, nelle profondità marine piú o meno grandi, non esistono manifestazioni vulcaniche? Le isole di natura vulcanica, rispondono affermativamente a questa domanda; ma vi è poi anche una serie di fenomeni avvenuti in epoche storiche, che stanno ad attestarci nel mare la esistenza di vulcani, i quali, se non differiscono sostanzialmente dai vulcani subaerei, debbono per altro sostenere una lotta con le onde che loro sovrincombono, e ridurre talora le loro manifestazioni esterne a semplici ribollimenti dell'acqua oceanica e ad emissione di gas. Dei vari fenomeni di tal natura, avvenuti in tempi storici, ne ricordiamo alcuni tra i piú noti.

Isola Sabrina. — Nelle Azzorre, in prossimità dell'isola di San Michele, negli anni 1658, 1691, 1720, 1811 comparve un'isola di scorie vulcaniche che fu successivamente distrutta dal mare. Fra tutte queste comparse, la piú notevole è quella del 1811. Il 13 gennaio di quell'anno l'isola di S. Michele fu scossa da un violento terremoto, e nel giorno seguente fu avvolta da vapori sulfurei, mentre dal mare, a circa due miglia di distanza, si elevava una nube vulcanica con ceneri, vapori, lapilli, scorie. L'eruzione durò 8 giorni e lasciò nel mare uno scoglio. Il 13 giugno dell'anno stesso una nuova eruzione lo aumentò, formandone una vera isola con cratere al centro, alta circa 90 metri, che fu chiamata isola Sabrina; ma nel 1812 il mare la inghiottí di nuovo, perché l'isola era formata da incoerenti detriti.

Isola Giulia. — Piú celebre è la comparsa dell'isola Giulia. Essa sorse nel 1831 tra la Sicilia e Pantelleria. Il 28 giugno un bastimento che passava per quella località risentí una scossa, ed il 10

luglio il capitano Carrao osservò una colonna d'acqua e di fumo lanciarsi all'altezza di 25 metri. La seguirono, alcuni giorni dopo, colonne di vapore alte ben 500 metri. Il 18 luglio era ivi comparsa un'isoletta alta poco meno di 4 metri, provvista di un cratere che eruttava con notevole violenza. Il 23 dello stesso mese l'isola aveva raggiunto un diametro di 250 metri, con 20 di altezza; al principio di agosto la circonferenza era di 4800 metri. Col settembre il mare incominciò a vincerla sulla azione vulcanica, ed a poco a poco l'isola fu demolita, non restandone che i molti nomi, e lasciando in asso le questioni diplomatiche, sorte tra il governo napoletano e quello Inglese pel suo possesso. Nel 1891 si ebbe una eruzione sottomarina a circa 5 chilometri a W-N-W di Pantelleria, che sino dal 1890 si era elevata in una parte del suo littorale (fig. 65).

Fig. 65. — Cartina dell' isola di Pantelleria. Il tratteggio indica il littorale sollevato, e le cifre misurano il sollevamento (Biancheri).

Isola S. Paolo. — Quest' isola non è altro che un antico cratere, interrotto da una parte, per la quale il mare penetra nel suo interno. Il punto più alto di questo cratere è di 265 metri, e presenta strati lavici sovrapposti, e mancanza quasi completa di materiali detritici, il che spiega come il mare non possa facilmente distruggerlo, mentre distrugge con tanta rapidità i crateri detritici.

Santorino. — Il gruppo vulcanico di Santorino, nell'arcipelago delle Cicladi, rappresenta un gran recinto, il cui maggiore diametro è di 11 chilometri, e di 7 e mezzo il minore. È un ampio cratere occupato dal mare, i cui contorni sono segnati dall' isola di Santorino o Tira, dall' isola di Tirasia e dallo scoglio di Aspronisi. Nel 97 a. C. nel mezzo di questo bacino sorse un' isola che fu chiamata Palea-Cameni; nel 46 apparve accanto a questa un nuovo isolotto che si fuse ben presto col primo. Fu nel 1573 che sorse a breve distanza la Micra-Cameni. Finalmente nel 1707 e 1709 apparvero due nuove isole, che fuse insieme formarono la Nea-Cameni. Questa ebbe nuove eruzioni nel 1711 e 1712 con formazione di un bellissimo

cono. Dopo quell'epoca l'attività vulcanica sembrava cessata, quando nel 1866 alla parte S-E della Nea-Cameni, che erasi conservata allo stato di solfatara, scoppiò una eruzione, per cui si originò il vulcano Giorgio, che a poco a poco si uní alla Nea-Cameni. Quasi contemporaneamente ecco sorgere a S-W un nuovo isolotto (Aphroessa) che non tardò a fondersi colla Nea-Cameni. Si formava quindi una terza isola (Reha) che si fuse con Aphroessa; e mentre esse cessavano di ingrandire, il vulcano Giorgio seguitò a gittare torrenti di lava. Queste eruzioni durarono fino al 1870, e fu loro caratteristica l'abbondanza della emissione di lave, che diedero alle nuove isole una consistenza notevole.

Cracatoa. - (Fig. 66). Nel maggio del 1883 un isolotto, situato all'imboccatura dello stretto della Sonda, diede cenni di attività nel vulcano che lo occupava. Ma il 26 agosto esplose cosí violentemente, che si inabissarono ben due terzi delle terre di cui il Cracatoa era costituito, mentre alcune isolette vicine e l'isola stessa, coi materiali riversati dal vulcano, aumentavano notevolmente la loro superficie. Questa eruzione costò la vita a piú di 30.000 persone.

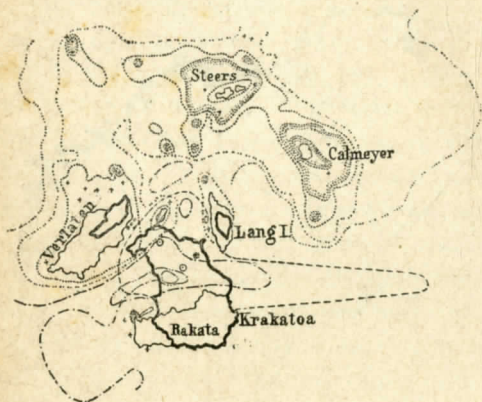



Fig. 66. — Alcune isole della Sonda, nella proporzione di 1 a 500,000.

Le grosse linee nere indicano il contorno di Lang Island (Isola lunga), di Cracatoa e di Verlaten prima dell'eruzione del 1883. Le linee nere continue, piú sottili indicano il contorno delle isole dopo l'eruzione. Le isole Lang e Verlaten si sono molto ingrandite, quella di Cracatoa fu diminuita, eccetto che nel lato occidentale. — Le isole Steers e Calmeyer, formatesi nel 1883, sono state ingoiate dal mare. - Le linee punteggiate indicano le diverse successive profondità del mare.

Cause del vulcanismo. — Per ricercare la causa dei fenomeni vulcanici è necessario, prima di tutto, studiare la distribuzione dei vulcani.

Il numero dei vulcani è tutt'altro che piccolo. Il Fuchs ne annovera 323 attivi e piú di 400 estinti. Ma in queste cifre non sono certamente compresi tutti i vulcani sottomarini.

Basta rivolgere uno sguardo ad una carta dove sieno segnati i vulcani, per convincerci subito di un fatto: ed è che i vulcani attivi si trovano quasi tutti od in isole od in vicinanza della spiaggia, mentre gli estinti sono in generale assai internati nei continenti. La geologia per altro dimostra che, quando arsero, non erano lontani dal mare.

Vi sarebbe forse un intimo rapporto tra il mare ed i vulcani? È quello che vedremo.

Si noti poi che un vulcano non ci si manifesta mai isolato, ma piuttosto fa parte di un *gruppo vulcanico*, che alla sua volta appartiene ad una *zona vulcanica* piú ampia. Secondo lo Stoppani il Vesuvio appartiene al gruppo vulcanico dei Campi Flegrei, e questo ad una zona che comprende i laghi-crateri di Bolsena e Bracciano, i colli Laziali, l'isola d'Ischia, il Vulture in Basilicata, le isole Lipari, l'Etna e l'isola Giulia.

L'Oceano Pacifico è cinto da un'ampia corona vulcanica. Ad incominciare dalla Nuova Zelanda, ove ardono i diversi coni attivi del gruppo del Tongariro, il Whakari, ed il Taranaki, e procedendo alle isole Viti, alle isole degli Amici (I. Tonga), a quelle dei Navigatori (I. Samoa), alle isole dell'Unione (I. Tochelau), alle Sandwich (Havai), e tornando in giú sino ai vulcani delle Nuove Ebridi, si procede sino alle isole della Sonda, dove si notano ben piú di 49 vulcani attivi, tra cui dei veri colossi. Seguono le Molucche e le Filippine, le montagne vulcaniche del Giappone (Fugi-Jama a S-W di Tokio) quelle delle isole Curili e del Camciatca, che si riuniscono per mezzo dei 48 coni delle Aleutine ai vulcani dell'America del Nord. Nella penisola di Alaska si hanno cinque vulcani, cui seguono quelli della Colombia inglese giú fino alla California. Nel Messico settentrionale mancano i vulcani; ma nel Messico centrale ricominciano ancor piú ravvicinati, ed ecco il Colima, il Jorullo, il Popocatepetl, l'Orizaba, ecc. L'America centrale comprende 25 vulcani attivi, cui seguono i vulcani dell'Equatore, colle colossali cime del Cotopaxi, dell'Antisana, del Sangay ecc. Altri vulcani si trovano nel Perú

nella Bolivia, nel Cile. Finalmente i vulcani della Terra del Fuoco, dell'isola Shetland, ed i polari, Erebus e Terror, chiudono l'ampio circolo del Pacifico.

Nell'Atlantico stesso è pur caratteristico l'allineamento vulcanico; cosí, cominciando dall'isola Jan Mayen, si va alla Islanda, alle Azzorre, alle Canarie, all'isole del Capo Verde, all'isola dell'Ascensione, a S. Elena, a Tristan da Cunha, d'onde, per le Shetland, la catena atlantica si collega con quella del Pacifico.

Nell'Oceano Indiano ripetesi il fatto stesso nell'allineamento delle isole vulcaniche prossime a Madagascar, coi vulcani della penisola dei Somali, con quelli Abissini, oggi quasi tutti estinti, e con piú coni attivi dell'Arabia.

I vulcani sono dunque allineati in modo da seguire il perimetro dei continenti; e le zone vulcaniche coincidono con le linee che segnano il confine tra i sollevamenti continentali e le depressioni oceaniche, e sono parallele alle grandi catene montuose.

Alcuni scienziati, che mal si adattano ad abbandonare il concetto di uno strato liquido esistente dovunque al disotto della crosta terrestre, ricercano la causa dei fenomeni vulcanici nel sollevarsi di questa materia fusa attraverso alle grandi spaccature del suolo, le quali si sono formate lungo le linee di depressione.

Ma un'altra teoria è molto probabilmente assai piú conforme al vero. Per questa non è necessario ammettere l'interna fusione della terra; le roccie interne, in seguito alla enorme pressione cui sono sottoposte, si conservano allo stato solido, racchiudendo una grande quantità di gas e di vapore acqueo, imprigionato sin da quando, nelle prime origini della terra, si trovavano allo stato igneo. Se avviene una spaccatura nella crosta terrestre (e ciò si verifica appunto lungo le linee che segnano il confine tra i sollevamenti e le depressioni, e quindi, in generale, tra la terra e il mare) diminuisce la pressione sopra le roccie sottostanti alla spaccatura medesima, e quindi le roccie in parte si fondono per la elevata temperatura, ed i gas ed

i vapori si liberano; allora, sia per effetto della spinta dei gas, sia per l'aumento di volume che accompagna la fusione delle roccie, le masse laviche sono costrette a risalire per la spaccatura formatasi. Esse per altro non sono masse, lo ripetiamo, totalmente fuse, ma piuttosto un magma cristallino con acqua allo stato vescicolare. Senza porre in dubbio che una parte del vapor d'acqua si trovi già in origine nella massa lavica, è pur certo che una gran parte di questo proviene dalle infiltrazioni superficiali e dal mare, senza di che difficilmente si spiegherebbe l'ingente quantità di vapore acqueo emesso nelle eruzioni. Di piú abbiamo già visto che fra i prodotti vulcanici ve ne sono alcuni, come il cloruro di sodio, che evidentemente richiamano dal mare la loro origine.

È poi evidente che, formandosi le spaccature nella parte superficiale della nostra terra, lungo le linee di depressione, ossia al confine fra terra e mare, quest'ultimo deve introdursi nelle spaccature, e concorrere quindi in gran parte alla produzione dell'eruzioni, senza per altro ammettere che ne sia l'unica causa.

MANIFESTAZIONI VULCANICHE SECONDARIE

Mofete e putizze. — Alla categoria delle emanazioni gassose debbono attribuirsi le *mofete* e le *putizze.* Col primo nome si indicano le emanazioni di anidride carbonica, col secondo quelle di idrogeno solforato.

È nelle regioni vulcaniche che si ha particolarmente lo sviluppo di anidride carbonica. Tali emanazioni si possono considerare come l'ultimo atto delle manifestazioni di un vulcano; ma sarebbe meglio dire che l'emissione di questo gas inizia, accompagna e chiude l'eruzione vulcanica. È nota la mofeta della Grotta del cane presso Napoli, grotta di cui una parte rovinò ultimamente. L'anidride carbonica, che è piú pesante dell'aria, si deposita sul pavimento della grotta formandovi uno strato che è di altezza supe-

riore alla statura di un cane comune, talché, se vi si introduce uno di questi animali, esso resta asfissiato. Da ciò il nome di Grotta del cane.

È pur ricordata la « valle del veleno o della morte » in Giava, ove si ha un tale sviluppo di anidride carbonica, da produrre la morte di tutti gli animali che vi si avventurano; talché la vallata, che è in realtà soltanto un cratere di vulcano estinto, è disseminata dei loro scheletri.

Nell' Eifel si notano più di 1000 mofete, ed esse abbondano anche nell'Alvernia.

Le putizze o puzzole, sono così dette pel cattivissimo odore di uova fracide, che emanano, dovuto all'idrogeno solforato. Questo gas si sviluppa sia dal fondo delle acque, sia anche dal suolo asciutto. Nel Volterrano abbonda, accompagnato da anidride carbonica; e ricordo la emanazione di Monachecca, in cui è pur caratteristica l'azione che questo gas esercita sulla roccia calcarea, trasformandola in gesso. Lo stesso fatto si può osservare a Tocco nell'Abruzzo.

Nella solfatara di Pozzuoli sono comunissime le putizze. Una si trova nel Lazio, a Torre Caldara, poco più su di Anzio. Sono poi abbondanti al Monte Amiata, in Toscana.

Stufe e fumarole. — Le *stufe* non sono che emanazioni di vapore acqueo, comuni nelle località vulcaniche, ed in strettissimo rapporto col fenomeno vulcanico; ed anzi i getti di vapore acqueo, distinti col nome di *fumarole*, altro in fondo non sono che stufe, quando non si voglia riservare quest' ultimo nome a quegli sbuffi di vapore che si verificano nell'interno di una grotta. Ed a ragione lo Stoppani considera come una grande stufa il cratere estinto della solfatara di Pozzuoli. Tali sono anche i getti di vapore che si osservano nei dintorni di Napoli, nelle isole Lipari, nell'isola d'Ischia. Sono sovente accompagnate da sostanze gassose, fra cui anidride carbonica ed idrogeno solforato. Presso Sciacca, in Sicilia, si hanno delle emanazioni di vapore, che sono vere stufe (terme selinuntine).

Le fumarole possono distinguersi in: *acide* se contengono quantità notevoli di acido cloridrico e solforoso, ed hanno temperatura di circa 400°; *alcaline* se contengono ammoniaca a temperatura di 100° circa, come nelle grotte presso il lago d'Agnano (campi Flegrei); *fredde* se hanno temperatura inferiore a 100°, come i bagni di Nerone a Pozzuoli.

Ma la regione ove il fenomeno delle stufe è piú grandiosamente rappresentato è la Nuova Zelanda. Nella valle di Waikato per la lunghezza d'un miglio se ne annoverano moltissime. E nella valle di Otumakeke esiste la celebre stufa di Carapiti, da cui il vapore esce violentemente con grande sibilo.

Quando il getto di vapore ha luogo attraverso ad un terreno fangoso, esso può originare dei vulcanetti di fango.

Gaiser o Geysir. — Ma piú imponente di quello delle stufe è il fenomeno dei *gaiser*. L' Islanda, isola manifestamente vulcanica, è la prima a darci esempi di tale fenomeno. Ivi, al piano del Biranafell, si hanno ben piú di 100 sorgenti termali intermittenti, che lanciano di tanto in tanto violentemente all'esterno acqua carica di silice. I nativi indicano tali sorgenti col nome di *Hverar*, ma in scienza è adottato il nome di *gaiser* o *geysir*, dal nome della piú importante fra tali sorgenti.

Il Gran Geysir, situato a circa 46 chilometri di distanza dal vulcano Hekla, presenta un cratere conico di silice, alto da 8 a 10 metri sopra 70 di base, alla cui sommità è scavato un bacino piatto, profondo circa 2 metri e largo dai 26 ai 28 metri. Nel mezzo del bacino sbocca un canale cilindrico largo 3 metri, da cui viene l'acqua del geysir. Quella che riempie il bacino nei periodi di riposo ha alla superficie una temperatura fra + 76° e + 89° C.; ma, approfondendo il termometro nel canale centrale, si trova che la temperatura aumenta, talché a 20 metri di profondità si ha la temperatura di + 227°. Ma, benché la temperatura sia cosí elevata, l'acqua non bolle, opponendovisi la forte pressione della colonna acquea sovrastante. Ad intervalli che variano da 24 a 30 ore, l'acqua erompe violentemente, e l'eruzione è preceduta da tremiti del suolo e da sotterranei boati. Una potente colonna di acqua, di

circa 3 metri di diametro si lancia, cinta da nuvoli di vapore, ad altezza che varia dai 30 ai 50 metri. Dopo dieci minuti tutto ritorna in quiete. Dopo l'eruzione il bacino è vuoto, e si riempie poi a poco a poco, finchè l'acqua straripa lentamente scorrendo sui fianchi del cono; tale acqua proviene senza dubbio da infiltrazioni.

A poca distanza dal gran Geysir trovasi lo *Stokr*, in cui si hanno eruzioni assai più frequenti, ma meno maestose.

Tutti contengono nella loro acqua della silice, la quale si deposita all'orifizio d'uscita, formando una specie di tufo siliceo, costituito da silice idrata o *geiserite*.

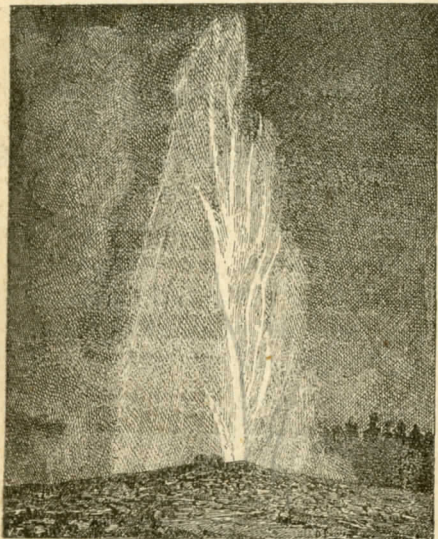



Fig. 67. — Il gaiser della Torre (Castl-Geysir) nelle Montagne Rocciose di California, in eruzione.

I gaiser si osservano anche nel Parco nazionale dell'America del Nord, e nella Nuova Zelanda.

Il Parco nazionale, compreso fra 44° o 45° di latitudine boreale e 110° e 111° di longitudine occidentale di Greenwich, ha un'area di 9500 metri e si estende tra le montagne Rocciose, i fiumi Madison e Gallatin, l'Yellowstone e lo Snake River (fiume dei Serpenti). Nella parte del territorio appartenente al bacino dell'Yellowstone e del Madison si hanno numerosissimi gaiser, alcuni dei quali, producono un deposito calcareo invece che siliceo. Numerosi gaiser sono anche nella California (fig. 67).

Nella Nuova Zelanda, dal vulcano di Tongariro fino all'isola di Whakari nella baia dell'Abbondanza, si ha una

continua successione di geysir, fontane calde, sorgenti fangose ecc. Principalmente notevole è la valle del fiume Waikato, emissario del lago Taupo, in cui si notano più di 76 sorgenti di vapore ed acqua calda. Ed è poi meraviglioso il lago di Rotomahana, in cui tra i numerosi getti di acqua calda, va ricordata la cascata di Tetarata, la quale cade da un' altezza di 25 metri su varie terrazze bianche come il marmo, dovute alla deposizione silicea delle acque della cascata stessa.

Spiegazione del fenomeno gaiseriano. — A spiegare il fatto della intermittenza delle eruzioni gaiseriane si proposero varie ipotesi, fra cui la più attendibile ci sembra la seguente (fig. 68).

Sappiamo che coll'aumentare della pressione si inalza il grado di ebullizione dell' acqua; così mentre in *A*, ad una profondità di metri 3,30, si osservò nel Gran geysir la temperatura di 85°, 5, in *D* se ne osservò una di 121°,9, alla profondità di 13 metri ed in *F*, ossia al fondo, la temperatura era di 126°. Alla profondità *F* il punto di ebullizione, tenendo calcolo della pressione, dovrebbe essere + 136°. Dei gas o dei vapori caldi provengono per le fessure e attraversano la colonna come bolle di vapore, ma hanno tale tensione da sollevare l' acqua di circa 2 metri, talchè l' acqua da *D* è sollevata in *C*, ove bastano solo 120° gradi perchè essa bolla, mentre l' acqua proveniente da *D* è a 121°,8. Perciò ivi l' acqua si trasforma immediatamente in vapore, e, reagendo contro la pressione degli strati sovrapposti, origina la eruzione. Succede quindi il periodo di riposo finchè il bacino non siasi riempito.

Fig. 68. — Interpretazione del fenomeno gaiseriano secondo il De Lapparent.

Che la rapida evaporazione avvenga nel mezzo del canale in *C* e non al fondo, il Bunsen lo provò chiaramente con esperienze, osservando che di 3 pietre sospese una in *C*, l' altra in *D*, l' ultima in *F* per mezzo di corde, soltanto quella ritenuta in *C* era lanciata fuori. Di più può anche darsi che i vapori caldi, oltre che in *F*, possano giungere anche in *C* per fessure laterali, come sarebbero *G* ed *H*.

Soffioni boraciferi. — Affini alle stufe ed ai gaiser sono i soffioni boraciferi della Toscana o *fumacchi*, come anche

sono chiamati. Si tratta di emanazioni di vapore acqueo, la cui temperatura oscilla fra 105° e 120°, le quali si sviluppano da fessure del suolo, spingendosi sino a dieci e venti metri di altezza.

I soffioni toscani abbondano nel Volterrano, nel territorio tra Volterra e Massa Marittima, e principalmente a Monte Cerboli, a Castelnuovo, a Sasso, a Lusignano, a Monte Rotondo, a Serrazzano, a Larderello. Essi sgorgano traverso al nudo terreno oppure in bacini di acqua, cui è dato il nome di *lagoni*, nei quali abbandonano l'acido borico che contengono. È notevole il rapporto che esiste tra i soffioni ed i cambiamenti atmosferici, per cui, mentre sono taciti e tranquilli ad aria serena, sono piuttosto violenti durante il mal tempo. Spesso si ostruisce la loro via di uscita, ed allora vengono a luce, o piú in su o piú in giú, per altra fessura, il che si indica col nome di « migrazione » dei soffioni.

I soffioni, oltre il vapore acqueo e l'acido borico, presentano anidride carbonica in abbondanza ed idrogeno solforato, ed esercitano una notevole azione chimica sulle roccie traverso alle quali si fanno strada, dando origine alla formazione di gesso, solfato di alluminio e di ferro, solfato di magnesio, pirite, minio, silice.

Alcuni getti di vapori della California si possono considerare come soffioni.

Salse e vulcani di fango. — Fra le manifestazioni vulcaniche secondarie debbonsi ricordare moltissime *salse* ed i *vulcani di fango*, che, come dice lo Stoppani, si distinguono dai veri vulcani piuttosto per gradazione di effetto che per diversità di fenomeno. È bene avvertire però che non tutte le salse sono propriamente manifestazioni vulcaniche; alcune anzi hanno la loro origine da fatti che non hanno, come vedremo, alcun rapporto coi fenomeni vulcanici.

Le salse si possono definire come piccoli cumuli di fango di forma conica, alti da m. 0,50 a 1 metro in generale, ma che giungono talora a 100 e 200 metri e piú. Da essi si riversa, con maggiore o minore continuità, un fango salino, generalmente freddo, ma talora caldo, che è spinto

fuori per opera dei gas sotterranei rigonfiantisi in bolla, la quale scoppia appena giunta all'esterno. Se il getto di fango è notevolmente attivo, allora si dà alla salsa il nome di *vulcano di fango*. Anche per le salse si possono distinguere periodi di eruzione violente e periodi di attività moderata. La poltiglia fangosa contiene spesso del petrolio, ed i gas che vi si sviluppano sono principalmente idrocarburi, talora anidride carbonica, ossido di carbonio, ed in alcuni casi anche vapore acqueo. Vi si trova del cloruro di sodio, del solfato di sodio e di magnesio. Non è raro che diverse salse trovinsi in rapporto con vere sorgenti di petrolio, come i distretti di vulcani fangosi di Taman e di Baku. Le salse che non sviluppano idrocarburi, danno esalazioni di idrogeno solforato.

Fig. 69. — Salsa di Nirano nel Modenese.

Salse italiane. — In Italia il fenomeno delle salse è notevolmente spiccato tanto in Sicilia quanto negli Appennini.

Celebre tra le altre è la salsa di Nirano (fig. 69). Ha la forma presso a poco di un cratere quasi circolare circondato da un rilievo a recinto, alto oltre i 70 metri; nel cratere si elevano due gruppi di conetti separati da un canale, i quali sono delle vere salse.

Presso Nirano trovasi anche la salsa di Sassuolo, che eruttò, a quanto ci narra Plinio, nel 663 di Roma, con violente scosse; eruttò poi di nuovo nel 1660, nel 1789, nel 1835 con potenti eruzioni fangose. Salse minori si trovano al nord di Velleia, ad Imola ed a Riolo.

In Sicilia trovansi salse e vulcani di fango tanto alla base dell' Etna, quanto nel territorio solfifero, presso Gir-

genti. Celebri in questa ultima regione sono le *maccalube*. Si tratta di collinette di circa 50 metri di altezza, terminate superiormente da un ripiano, su cui si inalzano numerosi coni alti appena un metro, dai quali, ad intervalli di 2 o 3 minuti, si solleva una bolla gassosa, che scoppia, proiettando un fango argilloso. Talora i coni scompaiono, tutta la pianura diventa un lago fangoso, ed avvengono allora eruzioni potenti con violente scosse, in cui l'argilla è spinta sino ad 80 metri di altezza.

Presso Caltanissetta trovasi la salsa di *Terrapilata*; ed alle basi dell'Etna si hanno le *salinelle di Paterno*, di *San Biagio*, e le *salse di Fondachello*. Queste, per solito, si pongono in notevole attività o poco prima o poco dopo le eruzioni dell'Etna. Altre salse si hanno presso Cianciano.

Salse del Caucaso e di altre località. — Regioni veramente importanti pel fenomeno delle salse sono: quella compresa tra il Mar Nero ed il mar d'Azof, e l'altra di Baku sul Caspio. Nella penisola di Apheron, celebre per le sorgenti minerali ed i petroli, si notano veri vulcani di fango, che spingono i loro coni dai 150 ai 470 metri di altezza. Fra questi ricordo il Toragai, l'Ottman Boss, i cui crateri sono caratterizzati da una forma ad anelli concentrici. Di piú la potenza dei vulcani di fango è nella regione del Caspio cosí grande, che nei dintorni di Baku hanno potuto far sorgere veri isolotti in seno al mare.

Nell'Islanda, nella Nuova Zelanda, in Giava, in Celebes, nelle Filippine, e nell'America centrale e del Sud si hanno altri vulcani di fango (*vulcanitos* di Turbaco, presso Cartagena).

Fontane ardenti. — Il principale agente della eruzione fangosa è il gas idrogeno protocarbonato (metano); ma se, invece che in un suolo umido o facilmente stemperabile dalle acque, la emanazione gassosa si fa strada attraverso ad un suolo secco e pietroso, allora non si sviluppa la salsa, ma si hanno semplici getti di gas infiammabile, che, se sieno accesi, si trasformano in vere fontane ardenti. Tale è quella di Barigazzo nel modenese. Barigazzo è un piccolo

villaggio situato nel cuore dell'Appennino modanese; ivi l'ardente fontana guizza da una rupe brulla ed è divisa in fiammelle secondarie cerulee. Essa era nota sin da antico e la ricorda anche PLINIO (*Exit flamma in mutinensi agro statis Vulcano diebus* - Nat. Hist., lib. 11, cap. 107).

A Pietramala, sulla strada che, per le Filigare, da Bologna conduce a Firenze, si trova un'altra fontana ardente, che però i grandi acquazzoni talvolta smorzano, ed allora si riaccende al solo avvicinarvi una fiamma. A Porretta, sulla via da Bologna a Pistoia, in cima ad una rupe, il *Sasso Cardo*, che strapiomba sul torrente Rio, affluente del Reno, si ha una fiamma, il *Vulcanello*, mentre alla base della stessa rupe sgorga una copiosa sorgente, dalle cui acque si sviluppa in abbondanza il medesimo gas, con un poco di anidride carbonica e di idrogeno solforato.

Anche a Velleja, antica città romana di cui non restano oggi che poche vestigia, situata nella valle del Chero (nell'Appennino settentrionale in provincia di Piacenza) si avevano e si hanno getti di gas infiammabili, ossia vere fontane ardenti. Vedremo fra breve, come ciò sia in relazione con sorgenti petrolifere, oggi abbastanza attive. Il suolo, molto poroso, è tanto impregnato di tali gas, che solo a forarlo (come fece lo Stoppani, e ne parla nel suo libro il *Bel Paese*) ne escono getti, che è facile accendere.

Nell'America, in relazione coi giacimenti di petrolio, si sviluppano abbondanti idrocarburi gassosi. Sono pur celebri le *sorgenti di fuoco* della Cina, nonché quelle della regione petroleifera del Caspio.

Petrolio e sorgenti petroleifere. — I petroli sono mescolanze di diversi idrocarburi. Gli idrocarburi solidi, mescolati ad altri corpi, formano l'asfalto, e, se vischiosi, i bitumi. Nell'asfalto entra anche l'ossigeno, e spesso l'azoto. In Italia si hanno sorgenti di petrolio nella Sicilia e nell'Emilia ed in altre località di cui ora diremo; ma più celebri sono le sorgenti di petrolio di Baku e quelle degli Stati Uniti. Nella Cina sin da antichissimo tempo si scavarono pozzi per l'estrazione dei bitumi, ed ai gas appunto che si

sviluppano da questi debbonsi le sorgenti di fuoco (*hot-sing*) sopra accennate.

Pare anche che il Mar Morto fosse una volta ricco di sorgenti di petrolio e di bitume.

Nell' isola della Trinità (Piccole Antille) sgorga il petrolio in vicinanza della spiaggia nel mare; e sulla terra, a 25 metri sul livello del mare, si trova un ampio lago di bitume, che è detto « *il lago di pece della Trinità* ». Quanto ai pozzi petroleiferi degli Stati Uniti, essi costituiscono una delle principali ricchezze di quella regione.

Ma, per venire alla nostra Italia, accenniamo brevemente alle principali sorgenti di petrolio che da noi si rinvengono.

Nel bacino di Tocco (Abruzzo citeriore) esiste fra i dirupi del Monte d'oro una sorgente di acqua, che sgorga da una piccola caverna; questa sorgente, quando in seguito alle piogge si rigonfia, porta con se del bitume ed anche in quantità notevole. A Tocco furono scavati pozzi per l'estrazione dell' importante sostanza. A Torre dei Passeri, sotto il Gran Sasso, si hanno altre sorgenti.

A Salsomaggiore (noto per le sorgenti salate e salsoiodiche) si hanno depositi di petrolio.

Pozzi si trovano poi a S. Andrea del Taro ed altri ancora a Miano, a Riccò, a Neviano, nell'Appennino Emiliano; così anche a Rivanazzano presso Voghera. Importanti poi sono quelli di Velleia (fig. 70); oggi se ne contano 85. Di questi una piccola quantità produce gas in grande abbondanza, così da fare andare un motore della forza di 16 cavalli vapore.

Le miniere petroleifere di Velleia esistono dal 1890. Prima era nota quella località agli archeologi per gli avanzi della città romana, ed agli scienziati per i gas infiammabili che si sviluppavano nella valle del Chero, i quali richiamarono appunto l' attenzione e motivarono la ricerca del petrolio.

Varia molto la profondità a cui si trova il petrolio. A monte i pozzi giungono a 200 e più metri (il più profondo è oggi a 335 m); più a valle basta scendere a 100 m. per trovare il petrolio.

Esso non è molto abbondante, ma è facile che negli strati più profondi se ne trovi in quantità maggiore. Da principio i pozzi

danno sin 400 litri al giorno, ma si esauriscono rapidamente, scendendo sino a 100 litri, dopo qualche mese.

È da osservarsi anche che il terreno, facilmente franabile e incoerente, rende difficile la escavazione dei pozzi, e la « Società fran-

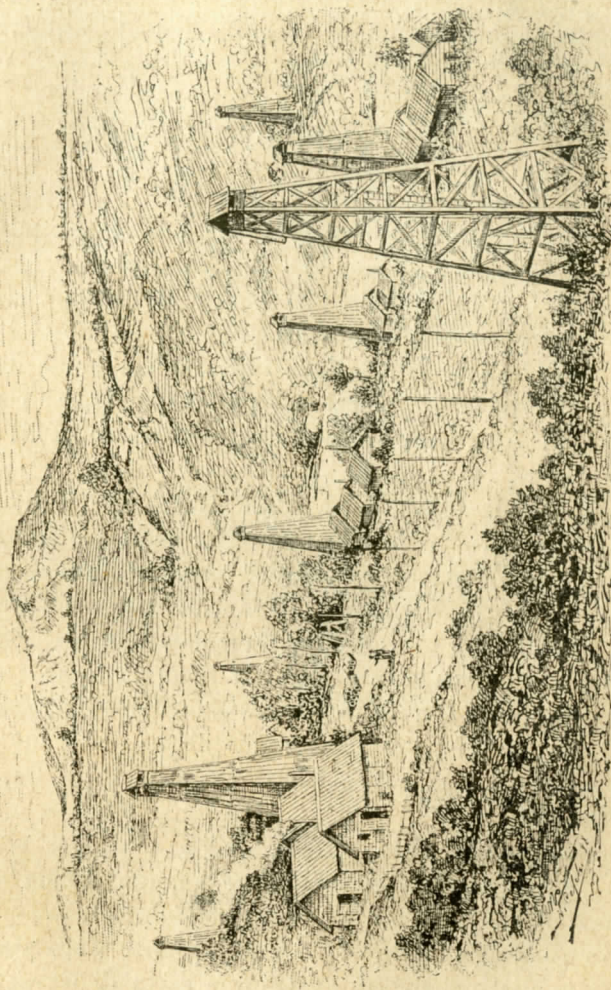



Fig. 70. Pozzi— petroleiferi, di Velleia in provincia di Piacenza (da una fotografia del cav. A. Cassarini di Bologna).

cese dei Petroli », cui oggi appartiene la miniera, studia ora il mezzo di vincere le difficoltà offerte dal terreno, e scendere a profondità di 600 e 800 m.

Si crede da alcuni che i petroli ed i bitumi sien originati dalla distillazione di una grande quantità di resti organici, da altri che sieno invece dovuti alla combinazione diretta dei corpi semplici che li costituiscono. Ma la prima è la più accreditata, e quella che meglio risponde alle condizioni nelle quali si trova il petrolio in natura.

I TERREMOTI

Col nome di *terremoto* si dovrebbe intendere ogni movimento del suolo, da quelli che si manifestano con spaventevole intensità a quelli che sono così lenti da richiedere un tempo grandissimo per rendere manifesti i loro effetti. Nondimeno si sogliono indicare col nome di *terremoti* i movimenti violenti del suolo, mentre si riserba il nome di *lente oscillazioni* o *bradisismi* a quelli lentissimi.

Nell'idea di terremoto è adunque inclusa un'idea di scossa sensibile, e generalmente anche assai violenta. Chi non ha infatti letto dei disastrosi terremoti che devastarono la Calabria nel 1783, ed anche recentemente nel 1894? chi non ha memoria dei terremoti che nel 1887 seminarono la rovina e la morte nel littorale ligure? Celeberrimo poi è il terremoto di Lisbona del 1755, che fece 30,000 vittime; ed in proporzioni minori, ma pur disastrosissimo e tristamente celebre, il terremoto di Casamicciola (fig. 71).

Classificazione delle scosse. — Le scosse si possono ridurre a due categorie: *sussultorie* quando l'onda arriva in direzione normale all'orizzonte, *ondulatorie* quando arriva in direzione obliqua. Non si può per altro stabilire una netta distinzione tra queste due sorta di scosse, poiché una scossa sussultoria genera all'intorno della regione da essa colpita una serie di movimenti ondulatorî che si propagano in tutte le direzioni.

Se si incontrano due sistemi differenti, ossia partenti da punti diversi, di scosse ondulatorie, si origina un mo-

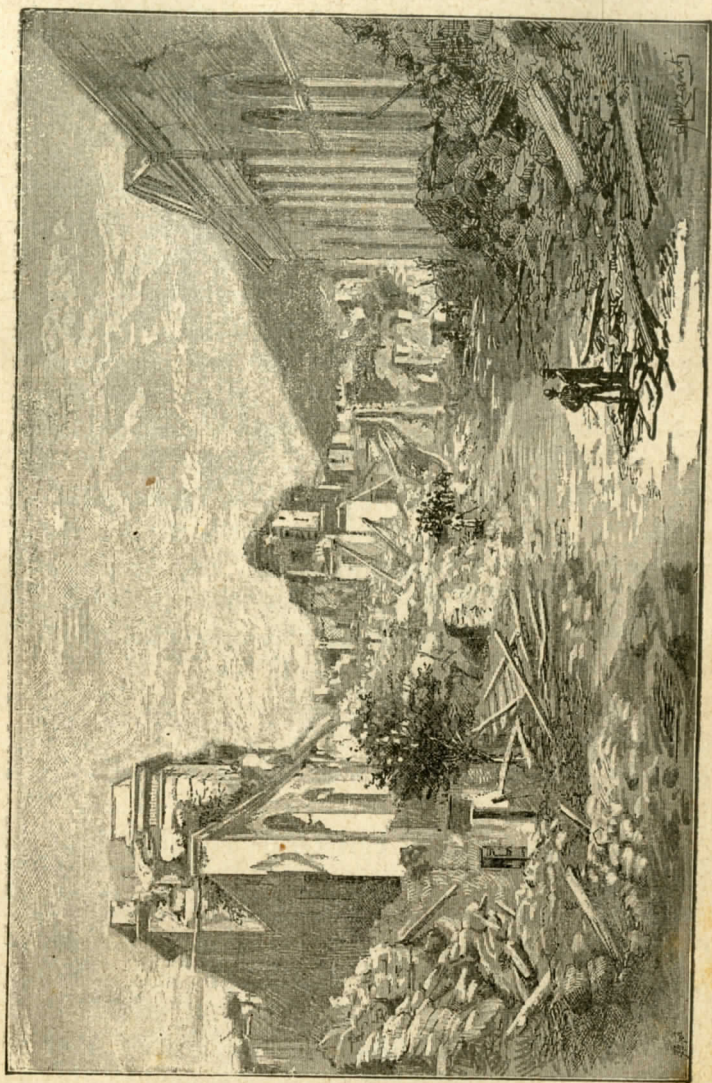



Fig. 71. — Terremoto di Casamicciola.

vimento vorticoso, d' onde una terza categoria di scosse: le *vorticose*.

Pel principio d'inerzia gli oggetti colpiti alla base da una scossa ondulatoria cadono in senso contrario a quello al quale avvenne l'urto (fig. 72). Disastrosissime sono le scosse sussultorie; sembra che la superficie del suolo si inalzi per poi inabissarsi.

Nel terremoto del 1797 a Rio Bamba una scossa verticale lanciò i cadaveri di vari abitanti al di là del torrentello Lican, sulla cima della collina della Culca, alta più di 100 metri; ed in Calabria nel 1783 varie case saltarono all'aria, come per effetto di una mina, mentre altre erano spinte in alto e trasportate intiere. Nello stesso terremoto di Calabria una scossa vorticosa fece girare su sé stessi i vari prismi sovrapposti che formano gli obelischi di San Bruno a Santo Stefano del Bosco; e così anche nel cimitero di Zante vari cippi funerei furono girati sulla loro base, ed a Belluno un angiolo di bronzo alto cinque metri, situato sopra la torre del duomo girò, nel terremoto del 1873, di 20° sopra la base.

Fig. 72. — Azione di una scossa ondulatoria sopra una colonna. — *o*, direzione donde viene la scossa obliqua al suolo - *m*, direzione in cui cade la colonna.

Nel moto ondulatorio non sono rari i casi, in cui furono visti gli alberi piegarsi al passaggio dell'onda e poi risollevarsi; varie persone furono spinte violentemente le une a ridosso delle altre; e spesso (così nella valle del Bove in Sicilia) il suolo è così agitato, da far provare proprio gli effetti del mal di mare.

Durata delle scosse. — La durata delle scosse è sempre di pochi secondi, e ve ne sono anche di quelle che non durano che una frazione di secondo. Si parla, è vero, di scosse che durano minuti, ma in questi casi, anziché di una scossa sola, si tratta del succedersi a rapidissimi intervalli, e quindi quasi inapprezzabili, di un gran numero di scosse. In generale sono le scosse ondulatorie quelle che durano un poco di più. Talvolta le scosse si succedono, ad inter-

valli più o meno lunghi, per mesi ed anni. Ne diede esempio la provincia di Siena non molti anni or sono. Nell'isole Sandwich (Havaï), nel 1868, nel solo mese di marzo si contarono 2000 scosse; il terremoto di Benevento del 1886 durò due mesi; e vari mesi durò quello di Calabria del 1870, cioè dal marzo sino alla fine di ottobre; in questo ultimo terremoto fu il 4 ottobre che si ebbero le scosse più violente, il che prova che di rado è la prima scossa la più forte, come pure è provato dall'osservazione che la più disastrosa non è mai l'ultima. Anche il terremoto di Belluno durò dal 12 marzo 1873 sino al termine dell'anno.

Per ciò che si riferisce poi alla frequenza dei terremoti, errerebbe chi li credesse rari. Il Fuchs, in un periodo di 8 anni, ne annovera 1184, in 517 diversi luoghi. Da altri calcoli risulta che nella sola Europa, dal 1850 al 1857 si ebbero 4620 terremoti. Dal 1885 al 1893 il Milne contò nel Giappone 8331 terremoti; e lo Schmidt ne contò 300 forti e 50.000 leggeri, nella Focide, dal 1870 al 1873. E si noti che di molti terremoti non abbiamo notizie, sia perchè non disastrosi, sia perchè avvenuti in parti della terra o ignote o poco note o lontane da centri civili; talchè si può ben dire che la superficie della terra è continuamente in movimento, quando in uno quando in un altro luogo.

Modo di propagazione delle scosse. Onde sismiche. — Una scossa si propaga o secondo un' unica direzione, od irradiando da un centro. Nel primo caso segue il piede di una catena montuosa o la costa marina; nel secondo caso il movimento si propaga in tutte le direzioni, e l' intensità delle scosse diminuisce man mano che esse si allontanano dal centro.

Questo movimento si propaga per *onde*, talchè in un dato istante tutti i luoghi che risentono la scossa sono distribuiti sopra una superficie d' onda, che fu chiamata *onda sismica.*

La velocità di propagazione dell'onda sismica è lungi dall'essere costante, tanto che si sono avuti terremoti in

cui la velocità era di 131 metri al secondo e terremoti in cui si giunse ad 885 metri al secondo. L'onda del terremoto dell'America meridionale del 22 ottobre 1894 percorse in 17 minuti gli 11.500 chilometri che separano Santiago del Cile da Roma. La diversa velocità si spiega facilmente, riflettendo alla diversa natura dei terreni attraverso ai quali si propaga il movimento, per cui anche la superficie d'onda ben di rado è sferica.

Le linee che uniscono i luoghi nei quali il terremoto si produce nel medesimo momento e con la stessa intensità diconsi *omosiste.*

Le onde si *riflettono* e si *rifrangono*, incontrando masse rocciose eterogenee, e questo complica in modo non indifferente la ricerca della direzione delle onde sismiche.

La riflessione e la rifrazione delle onde sismiche ha luogo secondo le leggi che regolano gli stessi fenomeni per le onde sonore e per quelle dell'energia raggiante.

La fig. 73 serve a darne un'idea. In essa AB rappresenta la superficie di separazione di due strati eterogenei, MN la normale a questa superficie nel punto P, OP la direzione dell'onda incidente, la quale viene riflessa secondo PQ, o rifratta secondo PQ'. Sappiamo dalla fisica che l'angolo OPM od *angolo d'incidenza* è uguale all'angolo MPQ od *angolo di riflessione* e che il rapporto fra il seno dell'angolo OPM ed il seno dell'angolo NPQ' (*angolo di rifrazione*) è costante, ed eguale al rapporto tra le velocità di propagazione del moto ondulatorio nei due mezzi eterogenei M ed N.

Quando più onde sismiche si incontrano, possono interferire ed anche elidersi, ed in quei luoghi ove ha luogo la completa interferenza il terremoto non si sente. Tali luoghi sono detti *ponti del terremoto.* Può accadere anche che, mentre la parte superficiale della terra è violentemente agitata da un terremoto, le parti immediatamente sottoposte non ne risentano alcun effetto. È accaduto infatti che gli operai lavoranti in una miniera non abbiano

avuto alcun sentore di un terremoto che ha distrutto tutto alla superficie del suolo sovrapposto alla miniera.

Nel passaggio da un mezzo all' altro, la velocità dell'onda sismica aumenta, se la resistenza del nuovo mezzo è minore, diminuisce nel caso contrario. Ma come per il calore e la luce può verificarsi il caso della riflessione totale, così il medesimo fenomeno può aversi per le onde sismiche; e ciò si avvera tanto più facilmente, quanto maggiore è la differenza della velocità dell'onda sismica nei due mezzi.

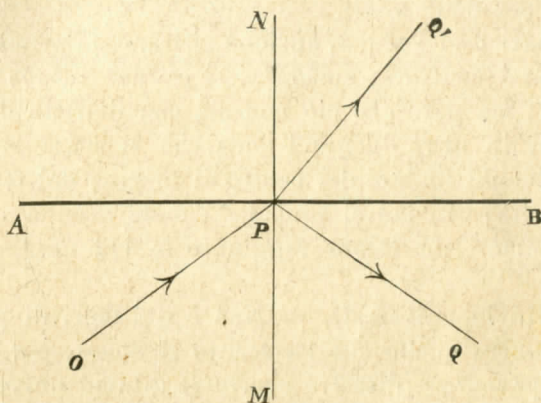



Fig. 73. — Rifrazione e riflessione delle onde sismiche.

Maremoti. — Quando una scossa si propaga nel mare si ha un *maremoto*. Essa, in alto mare, se è ondulatoria, si trasmette rapidamente alle acque e si disperde; se è verticale o sussultoria, non si manifesta con altro fatto che con quello di scosse ai bastimenti; sulle spiaggie invece produce fenomeni disastrosi. Il mare da prima, in generale, si ritira, per poi precipitarsi con un' onda furiosa sulla spiaggia, spazzando e distruggendo tutto ciò che trova sul suo cammino.

L' onda prodotta dall'eruzione del Cracatoa nel 1883 aveva un'altezza dai 15 ai 30 metri, e, precipitandosi sulle

coste di Giava, distrusse tre città, uccidendo 40.000 abitanti. Il 7 giugno 1692 un'onda marina di terremoto si precipitò sulla città di Porto-Reale (Giammaica) ed in 3 minuti ricoprì di dieci metri di acqua piú di 2500 case; i navigli furono gittati qua e là nella campagna, e la fregata Svan fu abbandonata sopra un tetto. Nel terremoto di Lisbona del 1755 il mare si alzò 16 metri sul livello ordinario. A Callao, nel terremoto del 1724, che distrusse Lima le onde si elevarono a 25 metri sopra il livello del mare. Nel terremoto del 1699, il mare si ritirò dalla spiaggia di Catania per 6400 metri.

In certi casi l'acqua, anziché ritirarsi da prima per poi precipitarsi contro la spiaggia, si avanza invece in onde colossali; ma pare che ciò non sia che l'effetto del ritiro operatosi in altro luogo; l'onda che si ritira si avanza verso i luoghi lontani dal centro di origine dal maremoto. La velocità, con cui si propaga l'onda marina originata dai maremoti, ha talora raggiunto le 442 miglia marine all'ora.

Il diluvio universale. — Non è qui fuori di proposito il riassumere quello che ha scritto il Suess, per spiegare quello spaventoso disastro che fu il diluvio universale, la cui narrazione si trova nelle tradizioni di molti popoli.

Secondo il Suess adunque il diluvio universale avvenne nella bassa regione dell'Eufrate; e lo desume dalla concordanza che vi è fra la narrazione che se ne fa nel carme di Izdubar (epopea assira) con quella fattane nella Bibbia; la quale ultima, pur dicendo che il diluvio avvenne nella valle del Giordano, in molti punti accenna a cose che si riferiscono senza dubbio alla Mesopotamia, che l'epopea assira dice chiaramente essere stata la località devastata dal diluvio.

La causa poi del diluvio sarebbe stata, secondo il Suess, un violento terremoto che, preceduto da altri meno disastrosi, si originò nella regione del golfo Persico, e fu accompagnato da un ciclone; e ricorda come prova la violenta tempesta che, nella notte dall'11 al 12 ottobre 1737,

imperversò, insieme ad un terremoto, nel delta del Gange, provocando un inalzamento di 40 piedi nel livello delle acque di questo fiume, con la morte di 300.000 persone. Probabilmente a rendere più terribile il fenomeno si aggiunse un maremoto.

Nulla prova poi che il diluvio sia stato proprio un fenomeno universale, per cui sarebbesi sommersa tutta la terra, poiché non tutte le tradizioni di tutti i popoli ne parlano.

Epicentro ed ipocentro. — È molto importante il determinare la posizione del *centro* di origine del terremoto, e quindi la profondità a cui esso ha avuto principio.

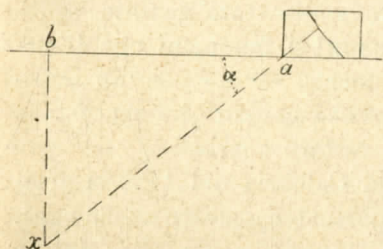



Fig. 74. — Ricerca dell'ipocentro dalla orientazione delle fratture (secondo Mallet) - ba superficie del suolo, xa normale alla spaccatura, α angolo di emergenza.

Il Mallet, considerando la posizione delle rovine prodotte dai terremoti, poté dedurre la direzione dell'onde sismiche alla superficie, e quindi il punto di loro irradiazione superficiale o centro superficiale del terremoto, cui si dà il nome di *epicentro*. Lo stesso autore, studiando accuratamente la direzione delle fessure prodotte nel suolo e nelle muraglie dai terremoti (fig. 74), e conducendo delle normali a queste direzioni, essendo nota la posizione dell' epicentro, poté determinare il vero focolare della scossa, od *ipocentro*, e la distanza di questo dalla superficie.

Infatti, quando sia noto il valore dell'*angolo di emersione* α, e la distanza ba dall'epicentro b, è facile col calcolo determinare il valore di bx, ossia la distanza dell'epicentro dall'ipocentro. Così egli trovò che il terremoto delle Calabrie del 1857 ebbe origine ad una profondità di 10.667 metri. Il Mercalli ed il Taramelli dedussero, con lo stesso metodo, una profondità di 17 chilometri e mezzo per l'ipocentro del terremoto della Liguria del 1887.

È bene ricordare che, come sopra avvertimmo, per la diversa natura delle roccie che compongono la nostra terra, la vibrazione sismica non si trasmette per onde sferiche intorno al centro sismico, e che i calcoli per determinare questo centro sono, anche per ciò, soggetti a facili errori, e richiedono quindi una osservazione accurata.

Da questi e da altri calcoli stabiliti è risultato per altro un fatto di grande importanza, ossia che il centro d'impulso dei terremoti si trova generalmente a profondità relativamente piccole. Benché recentemente si ammettano per alcuni terremoti profondità dell'ipocentro molto grandi, dubitiamo che i calcoli che hanno condotto a tale conclusione siano molto esatti, tanto più che partono dall'ipotesi che l'interno della terra si trovi allo stato gassoso.

Effetti meccanici dei terremoti e fenomeni che li accompagnano. — Oltre alle immense rovine che un terremoto può produrre, non è raro che esso origini spaccature nel suolo, che possono anche restare aperte.

Nel famoso terremoto della Calabria del 1783 si aprirono numerose fessure, che si possono osservare anche oggi. Tale è quella presso Polistena, lunga nove miglia. Spesso si hanno anche, attraverso a queste spaccature, vere eruzioni di acque e di fango. Nel terremoto di Corinto del 1861 si formarono molti crateri di sabbia e crepacci. Nei crepacci si scorgeva una poltiglia grigiastra, oppure una sabbia bianca, e si sviluppavano anche bolle di gas, con odore di acido solfidrico, ed acqua salmastra. Nell'Acaia si ebbe una sommersione del lido di più di due metri, e si formarono numerosi coni di sabbia eruttata; se ne contarono a centinaia, ed il più grande aveva una base di 20 metri, ed un cratere di appena un metro.

Si disse anche che i terremoti sono capaci di produrre sollevamenti di suolo, e si citò come esempio la diga sorta per più chilometri di lunghezza, nel 1819, nel delta dell'Indo, in seguito allo sprofondamento di una intiera regione, per cui si formò un ampio lago di 520 chilom. quadrati; ma sembra invece che questa diga non sia altro

che il margine dello sprofondamento, talché il sollevamento non sarebbe che una apparenza. Di sollevamenti causati da terremoti non è quindi il caso di parlare, giacché tutto prova il contrario. Frequenti sono invece i rapidi scoscendimenti. Cosí nel terremoto del 1811-12 al Mississippi si ebbero avvallamenti tali da formare vari laghi, alcuni dei quali larghi sin 150 chilometri. Il villaggio di Pella, sul lago d'Orta, fu in parte sommerso nel lago durante il terremoto del 1868 (6 dicembre); ed anche nel terremoto di Belluno, del 1873, si ebbero avvallamenti.

I terremoti sono per solito preceduti od accompagnati da sotterranei rumori, che ora somigliano al fragore del tuono, ora al passaggio di carri d'artiglieria sopra una strada acciottolata, ora sembrano strida, ora scricchiolii; frequentemente varia la temperatura ed il getto delle sorgenti; talora gli aghi magnetici si perturbano.

È bene avvertire qui che lo spazio entro cui si manifesta con intensità massima un terremoto si chiama *area mesosismica*. Cosí l'area mesosismica del terremoto della penisola Garganica, del 1893, si estese per circa 5 chilometri.

Sismometri. — Allo scopo di osservare la durata, la direzione ed il numero delle vibrazioni di un terremoto si costruirono degli istrumenti, che furono detti *sismografi* od anche *sismometri*. Il sismometro piú semplice sarebbe un piatto con il fondo coperto d'acqua ed argilla; basta una scossa perché l'acqua e l'argilla si muovano, ed una parte di argilla resti attaccata da un lato del piatto.

Anche un filo terminato da un peso munito di punta appóggiata ad un mucchietto di sabbia, può servire da sismografo.

Allo stesso scopo serve un recipiente pieno di mercurio fino all'orlo inferiore di una data quantità di fori, distribuiti ai quattro lati del recipiente; dai fori corrispondenti alla direzione di una scossa esce il mercurio.

Ma assai piú precisi sono i lunghi fili metallici terminati da una sfera pesante munita di punta inferiormente,

con cui sono tracciate delle linee sopra un vetro affumicato o sopra una carta situata sotto alla punta. Con questo mezzo si seguono tutte le fasi di un terremoto, cioè l'ampiezza delle oscillazioni, l'intensità delle scosse, la loro successione; e si scorge anche che le onde sismiche si riflettono, si rifrangono, interferiscono, poiché ciò è indicato dalle numerose curve che si intralciano e si sovrappongono nel diagramma di una scossa.

Oggi i piú in uso sono quei sismometri che automaticamente indicano, con appositi diagrammi, tutte le particolarità di una scossa. Fra questi va ricordato il sismometro di Wagner il quale, oltre a scrivere automaticamente la durata e la direzione di una scossa, dà anche le grandezza del movimento subíto dalla terra.

Negli osservatori italiani funziona il sismometrografo di Brassart, col quale è possibile verificare le due componenti orizzontali e la verticale delle scosse.

Esso è formato da un lungo filo portante un pesante anello circolare orizzontale, al cui asse sono poste tre piccole leve, il cui movimento, che ha luogo in tre piani normali tra loro, si trasmette a tre lunghe asticelle che portano una punta bagnata d'inchiostro, sotto cui scorre una striscia di carta. A seconda della natura della scossa si muove o l'una o l'altra delle tre leve; talché le curve tracciate dalle tre leve ci indicano la intensità della scossa nelle sue tre componenti, e come conseguenza, ci dicono se si tratti di scossa ondulatoria o sussultoria.

Recentemente si è applicato agli studi sismici anche il microfono, col quale si possono udire suoni e scoppi che sono in rapporto con l'agitazione della terra. Con questi ed altri simili apparecchi, fra cui il *tromometro*, il padre Bertelli verificò che la terra è continuamente agitata da lievi fremiti, cui diede il nome di movimenti *microsismici*.

Il tromometro è un piccolo pendolo sul cui peso è segnata una linea; e sul vetro della custodia in cui è chiuso sono segnate alcune gradazioni in parti di millimetro. Con un microscopio si può vedere la linea segnata sul pendolo muoversi lungo queste gradazioni.

Nell'uso di questo apparecchio occorre procedere con estrema cautela, essendo tanto sensibile da muoversi anche per il più piccolo movimento esterno, indipendentemente da scosse vere della terra.

Cause dei terremoti. Diverse sorta di terremoti. — Non vi è dubbio che alcuni terremoti possano trovare la loro spiegazione in frane, o nella rovina delle volte di cavità sotterranee. Sappiamo che l'acqua, filtrando attraverso gli strati terrestri, scioglie e trasporta dei materiali e scava delle caverne. Quando la volta di queste caverne rovina, si ha un terremoto, detto terremoto di *scalzamento* e più impropriamente di *franamento*. Per solito tali terremoti, talora molto disastrosi, sono limitati ad un'area pochissimo estesa. Ma non tutti i terremoti possono ammettere una causa così semplice, nè tutti sono prodotti dalla medesima causa.

Alcuni terremoti si limitano a regioni vulcaniche, od a località situate all'ingiro o sui lati di regioni vulcaniche, altri si manifestano in regioni lontane dai vulcani, hanno grandissima estensione e si ripetono ad intervalli piuttosto lunghi.

I primi, detti *terremoti vulcanici*, si verificano esclusivamente in località vulcaniche, e precedono od accompagnano le eruzioni. Basta leggere la storia di una qualunque delle celebri eruzioni dell'Etna o del Vesuvio, per convincerci appunto del fatto accennato. Così, sino dal 63, violenti terremoti distrussero Pompei; era appena riedificata che fu sepolta dall'eruzione del Vesuvio del 79.

È facile trovare la causa della maggior parte di questi terremoti vulcanici. Sappiamo che l'eruzione è accompagnata da un potente sviluppo di vapore acqueo; ora questo vapore, soggetto ad una tensione grandissima, sviluppandosi in mezzo ad altre materie, deve necessariamente trasmettere alle pareti della cavità vulcanica tremiti e scosse che si risolvono appunto in terremoti. Con immagine evidentissima lo Stoppani paragona lo scuotersi del terreno circumvulcanico al tremare delle pareti di un vaso in cui bolle un liquido.

Si sogliono chiamare *perimetrici* i terremoti che si manifestano all'intorno di località vulcaniche, e la cui origine vorrebbesi ricercare nei fatti istessi che danno origine ai terremoti vulcanici. I terremoti perimetrici possono essere molto disastrosi. I terremoti della Calabria sembrano riferibili a questa categoria; e così quelli che si verificano nella parte settentrionale della Sicilia.

Assai più violenti di quelli vulcanici e perimetrici risultano i terremoti che sono in intimo legame con la formazione delle catene montuose, detti di *dislocazione* o *tettonici*.

Il Suess ha fatto rilevare un fatto che, sebbene noto da tempo, non era tenuto nella debita considerazione, ossia il rapporto che le regioni molto soggette ai terremoti, hanno coi vulcani, con la direzione delle catene montuose e coi bassopiani. Ed appunto in relazione con le catene montuose, e coi bassopiani che loro sono prossimi, si formano i più violenti terremoti. Essi si originano ora in spaccature che tagliano le catene montuose, ora nelle ampie vallate situate ai fianchi di importanti catene, come la valle del Po, ora si distribuiscono paralleli alle catene montuose. È logico quindi dedurre che i terremoti tettonici siano fenomeni che accompagnano la formazione delle montagne.

Poichè i vulcani trovansi distribuiti, come vedemmo, lungo le linee di dislocazione, è evidente che essi sono in rapporto con i fenomeni orogenici, e che non tutti i terremoti che hanno luogo in località vulcaniche si possono attribuire ad esplosioni di gas interni, a pressioni di vapori e di masse laviche, poichè molti sono indubbiamente terremoti tettonici.

Sotto l'azione delle pressioni laterali, gli strati terrestri, costretti a piegarsi ed assoggettati a sforzi violenti di tensione e di compressione, debbono di necessità, o prima o poi, trovarsi in condizione di disequilibrio; quindi avvengono con le pieghe delle fratture, delle dislocazioni, degli scorrimenti delle pareti di frattura, e questi, trattandosi di enormi masse, debbono necessariamente indurre violente scosse nel suolo, capaci di propagarsi a grandissima distanza.

Cosí si spiega facilmente perché il centro interno (ipocentro) della scossa non si trovi a grande profondità, e perché, in prossimità delle linee montuose di recente formazione, il fenomeno si mostri nella sua piú maestosa intensità.

Alcuni autori, pur riconoscendo l'origine tettonica di molti terremoti, guidati dall'idea che nell'interno della terra si trovi una massa gassosa soggetta ad ingente pressione, vorrebbero spiegare i terremoti piú disastrosi riferendoli alle violente esplosioni di questi gas, che avverrebbero allorché essi, giunti in regioni ove si compie il loro passaggio allo stato liquido, per la diminuita pressione e temperatura, si uniscono, si scompongono, si dissociano, provocando reazioni chimiche, che sarebbero le cause delle accennate esplosioni. Ma noi abbiamo visto come sia tutt'altro che probabile l'ipotesi della fluidità interna del nostro globo; pare quindi inutile insistere su tale argomento.

Rapporti dei terremoti coi fenomeni astronomici. — Vi è chi vorrebbe trovare degli intimi rapporti tra i fenomeni astronomici e quelli sismici; ma in realtà questi rapporti sono ben deboli. Si dice che i terremoti sieno piú frequenti e piú intensi nelle sizigie che nelle quadrature; ma, oltre al fatto che la differenza è piccolissima, vi è anche da notare che in tal caso bisognerebbe ammettere un'attrazione esercitata dalla luna sulla massa fluida interna, nella quale si verificherebbero vere maree e della quale è dubbia l'esistenza. Ma se da ciò derivassero i terremoti, la loro frequenza dovrebbe essere molto maggiore di quella che realmente fu riscontrata.

LENTI MOVIMENTI DEL SUOLO

Bradisismi regionali. — I terremoti sono fenomeni cosí violenti e terribili, da destare maraviglia e terrore nell'animo umano; ma non minore maraviglia producono i lenti movimenti, i quali, verificandosi incessantemente, possono originare sulla faccia della terra cambiamenti ben piú profondi e piú stabili di quelli che possono essere prodotti dai terremoti. Il prof. Issel diede il nome di *bra-*

disismi a questi lenti movimenti, per cui il suolo in alcuni luoghi si solleva, in altri si abbassa, come è provato dalle spiagge marine, che in alcuni luoghi vengono a poco a poco ad essere inghiottite dalle onde, mentre in altri guadagnano continuamente sul mare.

Parlando degli atolli e di tutte le scogliere madreporiche, già avemmo occasione di notare un movimento del fondo marino; ora il movimento del fondo marino non è che il movimento della superficie solida della terra.

Questi movimenti sono lentissimi e si compiono per numero grandissimo di secoli, e su estensioni grandissime, talché facilmente si spiegano per loro mezzo le grandi modificazioni che possono verificarsi in una regione.

Movimenti delle spiaggie. — Oscillazioni del livello medio del mare. — Il fenomeno è caratteristico in special modo al tempio di Serapide presso Pozzuoli. Questo antico tempio romano è ora rappresentato da tre sole colonne, che restano ancora in piedi. Queste colonne presentano, fino a metri 3,60 sopra la base, il marmo levigato e liscio; ma oltre a questa altezza si presenta una zona, di metri 2,70 circa, tutta forata dai litodomi, molluschi marini che hanno la proprietà di scavarsi dei fori nelle roccie, ed ivi annidarsi. Il resto della colonna è pur levigato e liscio. Ora è provato che il tempio fu costrutto sul libero suolo. Quindi se i litodomi hanno potuto perforare le colonne bisogna che queste siansi trovate sommerse nel mare fino all'altezza cui giungono le perforazioni.

La conclusione è chiara: o il suolo si è abbassato, od il mare si è sollevato fino a quell'altezza. Vedremo che non è il mare che cambia tanto di livello; dunque evidentemente è il suolo che si è mosso. Quel tempio fu fabbricato nel 170 dopo Cristo, si abbassò e fu invaso dal mare nel 1198, e probabilmente fu nel 1538 che si rialzò. Ma nel nostro secolo si è novamente abbassato e risollevato; pare infatti che ora si trovi in lieve movimento ascensionale.

I viaggiatori che hanno visitato le terre vicine ai poli ci attestano che la loro estensione è assai superiore a quella

riconosciuta da antichi viaggiatori. Ciò che allora era una catena di isole è diventata una lingua di terra. Le conchiglie e le ossa di cetacei viventi trovati sulle colline dello Spitzberg ci attestano pure questo movimento ascensionale delle spiagge. Una prova ce la danno anche le costiere a gradinata che si rinvengono in Norvegia ed in Sicilia (fig. 75), le quali anche ci provano che il fenomeno è stato intermittente; poiché, durante i periodi in cui il movimento ascensionale della spiaggia era cessato, la spiaggia

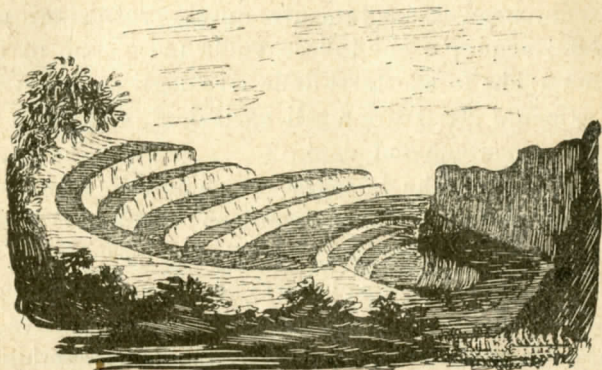



Fig. 75. — Costiera a gradinata al Gozzo dei Martiri presso Melilli in Sicilia (dal Lyell).

veniva logorata dalle onde, formandosi una piattaforma; e quindi il movimento ascensionale ricominciava e questa piattaforma veniva portata fuori dalle onde. Succedeva un altro periodo di riposo, in cui il mare formava per erosione una seconda piattaforma, ossia un nuovo terrazzo, e cosí di seguito.

Ma il luogo veramente celebre per le osservazioni fatte sulle lente oscillazioni della superficie della terra è la Scandinavia. Fu ivi che, per il primo, il Celsius[1] osservò

[1] Celebre scienziato svedese, noto per aver proposto la scala termometrica centesimale.

tale fenomeno, che egli invero attribuí ad un lento abbassarsi del livello del mare. La parte nord della penisola scandinava emerge lentamente dal mare; ma nello stesso tempo la parte meridionale si abbassa lentamente. Ciò prova all' evidenza non essere il livello del mare che cambia, poiché altrimenti non si potrebbe spiegare come esso si abbassi al nord della penisola mentre si solleva al sud.

Ciò non esclude però, poniamocelo bene in mente, che anche il livello del mare non possa essere variabile. In molti casi è realmente il pelo delle acque che si alza e si abbassa. Ma tra chi nega assolutamente queste variazioni nel livello delle acque, e chi invece vuole (ed a capo di questi sta il Suess) che lo spostarsi delle rive degli oceani si debba esclusivamente attribuire a tali variazioni, scegliamo la via di mezzo, e saremo nel vero.

Noi sappiamo che le masse continentali esercitano la loro attrazione sulle masse oceaniche; e quanto maggiore sarà la massa continentale, tanto maggiore sarà l'attrazione. Per conseguenza se le terre oscillano continuamente, sollevandosi od abbassandosi, anche l'azione attrattiva potrà aumentare o diminuire; e ne verranno lenti cambiamenti nel livello oceanico. Anche il diverso sviluppo delle masse glaciali ai poli è causa di diversa attrazione e quindi di oscillazione. Né va trascurato l' importante fattore delle variazioni della posizione dell' asse della terra, che porta come conseguenza, quale effetto della rotazione, uno spostamento della massa liquida, e quindi una necessaria variazione nel livello.

I materiali stessi che sono portati al mare, le isole madreporiche e vulcaniche che sorgono, sono tutte cause atte a mutare la posizione del confine fra la terra e l' acqua. E, senza citare altre cause, ci basti questo per convincerci che anche il medio livello del mare è soggetto ad oscillazioni, indipendentemente dalla marea.

Anche sulle coste della Danimarca si verifica un moto di sollevamento. Lento movimento di abbassamento si ha nei Paesi Bassi. Infatti all'epoca Romana i Paesi Bassi erano vaste pianure con pa-

ludi e foreste, frequentemente visitate dal mare; ma il suolo doveva essere più alto di quello che non sia oggi, come ce lo attestano antichi templi ora sepolti. La zona di massimo abbassamento dei Paesi Bassi trovasi alla foce del Reno e della Mosa.

Le coste italiane presentano esempi di emersioni e di sommersioni. Le paludi Pontine, una volta così fertili, e le Maremme toscane debbono la loro insalubrità all'abbassamento subìto. Nei dintorni di Venezia il movimento discensionale è ancor più manifestamente dimostrato. Infatti ivi si trovano, sotto al livello della marea, antiche costruzioni, come pavimenti a mosaico, sarcofaghi e simili. La costa orientale della Sicilia ha subìto un lento innalzamento. Emersioni ci sono attestate da depositi recenti sulle coste di Pisa e di Livorno, dai sopraricordati terrazzi paralleli alla costa sui lidi della Sardegna e della Sicilia; sommersioni invece dalla continuazione delle valli fluviali e di torrente con depressioni sottomarine, come le valli della Polcevera, dell'Arma, della Nervia ec. nel golfo di Genova. Alla foce del Tevere si ha un lento movimento di abbassamento. Notisi poi che appunto ad un lento movimento di abbassamento, coadiuvato da prima dalla erosione fluviale, si deve il porto di Brindisi, il quale ha quindi una origine simile a quella delle rias della Spagna.

Sulle coste del Tirreno si osservano numerose insenature arcuate, a forma di falce, terminate da promontori elevati, come quelle di Napoli, Gaeta, Piombino; molte di esse sono la conseguenza di uno sprofondamento. L'isola di Capri, dai tempi romani ad oggi, si è abbassata di circa 6 metri, come ce lo prova anche lo stretto ingresso della Grotta azzurra, che era ampio al tempo di Tiberio.

Le coste della Siria sono in movimento ascensionale, ed in movimento ascensionale sono anche le coste del Cile, il nord della Cina, le coste meridionali dell'Australia, mentre quelle settentrionali vanno sommergendosi. La Nuova Zelanda si deprime ad ovest, si solleva ad est.

Un'area di abbassamento importante si ha nell'Oceano Pacifico, ove moltissime isole sono tali per il sommergersi di un continente cui prima appartenevano. Ai fianchi di questa zona, due ve ne sono di sollevamento, l'una corrispondente alle coste occidentali d'America, l'altra alla Cina, all'isole del Giappone, alle Curili ecc. Nell'Oceano Indiano avvi altra area di depressione.

È area di abbassamento anche quella che corrisponde alla Manica ed al mare del Nord.

Senza dilungarci maggiormente in esempi, e facendo la sua parte ai cambiamenti di livello del mare, questo possiamo di leggieri concludere, cioè che la superficie della terra è soggetta a continue oscillazioni, che mentre alcune

regioni si sollevano, altre si abbassano, che una stessa regione può essere successivamente soggetta a movimenti di inalzamento e di abbassamento.

E gli studi di geologia ci dimostreranno a quanti e a quanto grandi cambiamenti sia andata soggetta la distribuzione delle terre e dei mari nelle epoche passate, appunto in conseguenza di tali lente oscillazioni.

Bradisismi locali. — Si chiamano cosí i lenti movimenti del suolo che si verificano in regioni limitate. Cosí l'anidride (solfato di calcio anidro) in presenza dell'acqua si converte in gesso (solfato di calcio idrato) ed aumenta di volume, sollevando per conseguenza le roccie sovrapposte; cosí anche l'acqua con lo sciogliere negli strati interni i materiali solubili, li fa diminuire di volume, provocando un abbassamento.

Cause delle lente oscillazioni. — A spiegare il fenomeno delle lente oscillazioni si ricorse a tre teorie importantissime, ed ammissibili tutte e tre, poiché l'una non esclude l'altra, anzi si completano a vicenda; esse sono la teoria dello Scrope, quella del Bischof e la teoria meccanica.

Lo Scrope riconosce che la terra riceve dal sole continuamente calore, e continuamente ne produce, e ciò serve a compensare la quantità di calore ch'essa perde per irradiazione. Ma è chiaro che, per la diversa natura e conduttività delle roccie, non in tutte le regioni si può avere la stessa quantità di calore. E siccome il calore induce dilatazione nei corpi, là ove si avrà maggior riscaldamento, sarà grande anche la dilatazione in confronto colle regioni dove il riscaldamento è minimo. Lo spessore delle roccie impedisce l'irradiazione ossia la perdita di calore, e quindi favorisce la dilatazione, che indurrà necessariamente un sollevamento; dove lo spessore è piccolo, l'irradiazione sarà maggiore, notevole la perdita di calore, e quindi questa regione, in confronto alle vicine, non si alzerà, od anche si abbasserà.

A questa teoria, che si basa esclusivamente sui fenomeni dovuti al calore, conviene aggiungere l'altra del Bi-

SCHOF, che non solo tiene calcolo del calorico, ma anche di altri agenti importantissimi. Sotto l'azione dell'acqua, del calore e della pressione le roccie subiscono profonde modificazioni; esse si idratano, cristallizzano, e nell'idratarsi e cristallizzarsi aumentano di volume. Avvengono anche cambiamenti chimici coi quali è inerente uno sviluppo di calorico, che alla sua volta produce dilatazioni nelle roccie. Tutto ciò è adunque causa di movimento.

L'altra teoria è quella per cui si ammette che la pressione esercitata dai materiali terrestri sopra i terreni molli possa essere causa di avvallamento. Il FAYE ammette anzi, partendo dal concetto dello stato incandescente dell'interno del globo, che sotto gli oceani la crosta terrestre abbia uno spessore maggiore che sotto le terre emerse, perché il raffreddamento sotto il mare fu piú rapido; talché i fondi del mare tendono ad abbassarsi per la pressione esercitata sulle roccie interne, che il Faye ammette fluide o pastose, mentre queste, spinte ai lati, esercitano una pressione sulla crosta terrestre continentale che si solleva. Ma la teoria meccanica ha pur sempre un grande valore anche senza ricorrere alla ipotesi dello stato incandescente dell'interno della terra.

Il SUESS poi ricerca le cause dello spostamento delle spiaggie in un innalzamento del livello del mare all'equatore ed in un abbassamento ai poli; ma non ne dà chiara la ragione.

Un cambiamento del livello del mare è inevitabile ammetterlo, oltre che per le ragioni sopra accennate, anche per i sedimenti che in esso si depongono, dando luogo alla formazione dei delta, a sollevamenti sul fondo marino, ecc. Ma non v'ha dubbio che al cambiamento delle linee di spiaggia debba in grandissima parte concorrere la contrazione della crosta terrestre, dovuta al lento raffreddamento della terra.

Origine delle montagne. — In altra parte di questo libro abbiamo già detto quanto è necessario sull'origine delle montagne vulcaniche; non è di queste adunque che

vogliamo occuparci qui; ma invece di quei rilievi e di quelle depressioni che ebbero origine sulla nostra terra, indipendentemente dall'opera dei vulcani.

Come effetto dei movimenti lenti della superficie del suolo si originano le isole e i continenti; ed a quei movimenti stessi si deve la formazione delle montagne.

Non vi ha dubbio che le montagne sieno state originate da spinte esercitantisi sugli strati che erano in origine disposti in senso orizzontale o quasi orizzontale. Ma tali spinte furono esse dal basso all'alto, oppure laterali? È questo il problema discusso per lungo tempo, ed oggi risoluto in senso favorevole alla seconda ipotesi. Le montagne sarebbero dunque dovute alla *pressione laterale*, la quale ha per causa il lento raffreddamento della terra e conseguente diminuzione di volume, che non è uniforme dovunque, perché le materie solide che formano la terra sono eterogenee, né si dilatano o contraggono ugualmente. Per questo la crosta terrestre,[1] in seguito al contrarsi della interna massa, in seguito alla diversa idratazione delle roccie, in seguito alla loro diversa conduttività pel calore, è costretta a contrarsi alla sua volta ed origina quindi pieghe, e con queste sollevamenti e depressioni, che a noi paiono giganteschi, ma che sono ben piccola cosa quando si pensi alla piccola elevazione delle montagne rispetto alla lunghezza del diametro terrestre.

Che le montagne sieno dovute ad una contrazione laterale e non a spinte dal basso all'alto lo dimostra la natura asimmetrica dei due versanti montuosi, di cui già abbiamo parlato; e gli Appennini, il Giura, i Carpazi, gli Appalacchiani, le Ande, ne sono caratteristici esempi. Le Alpi stesse, invocate come prova della teoria del solleva-

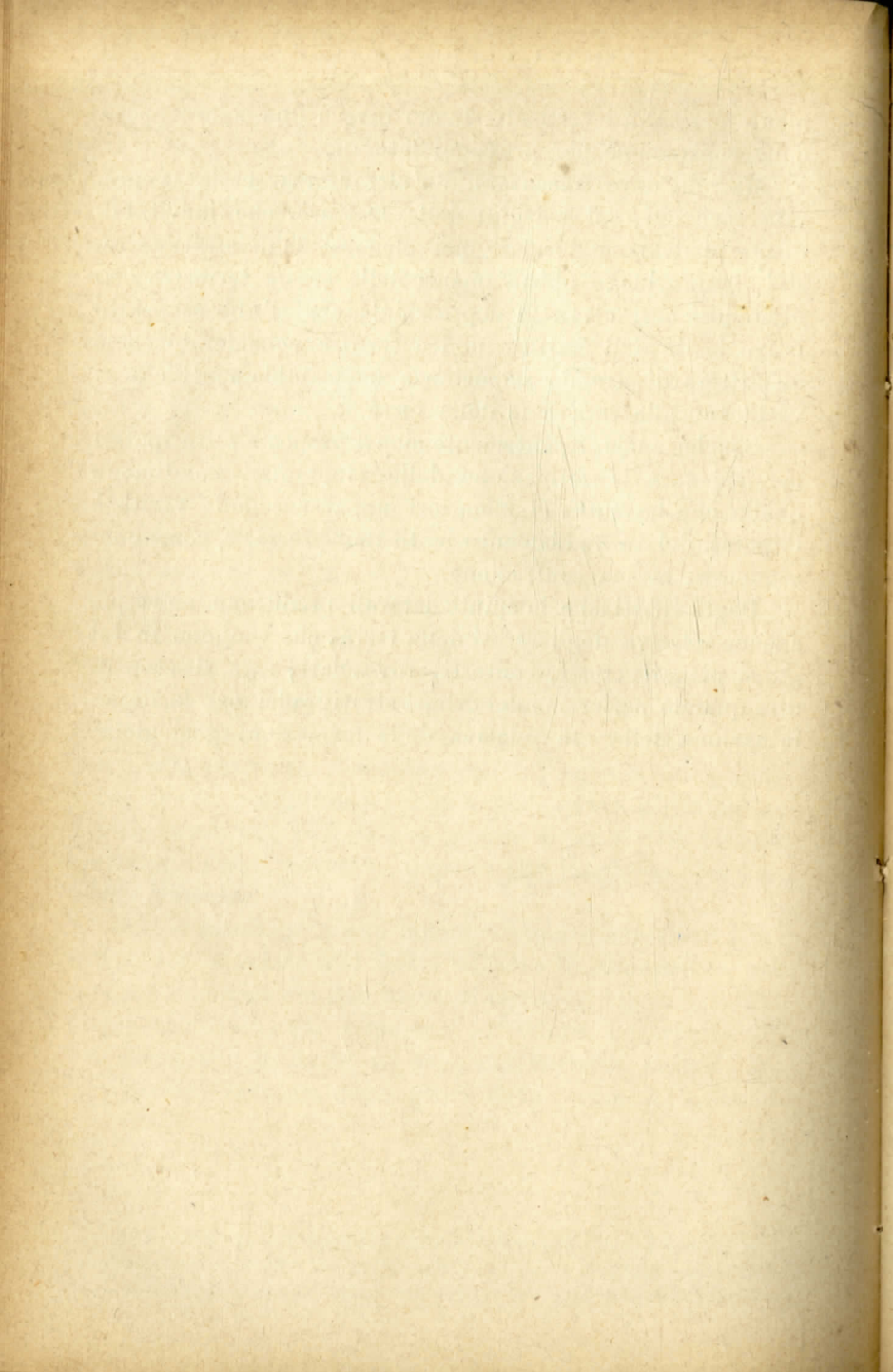
---

[1] Si avverta che col nome di *crosta terrestre* intendiamo l'insieme degli strati meno profondi del nostro globo, e non l'inviluppo solido del globo, come si usa da altri autori che ammettono lo stato fluido interno.

mento per spinte verticali, danno invece una chiara prova della contrazione per pressioni laterali.

Ma non deve trascurarsi un'altra forza, ossia la gravità, per cui, sui margini delle fratture, che inevitabilmente si debbono formare pel piegarsi degli strati terrestri, hanno luogo abbassamenti della crosta terrestre originandosi così alture e depressioni; anzi l'abbassamento lungo le linee di frattura non a torto è considerato come un fattore di grande importanza nei cambiamenti che si verificano alla superficie della terra.

Benché anche recentemente siansi proposte altre ipotesi per spiegare la formazione delle montagne, nondimeno quella che ha tutte le maggiori apparenze della verità è l'ipotesi del raffreddamento lento della terra, e, come conseguenza, la sua contrazione.

Degli effetti che le spinte laterali producono nella posizione relativa degli strati della terra, che vengono in tal guisa piegati, rotti, contorti, rovesciati, sarà il caso di dire quando parleremo dei criteri stratigrafici per la determinazione della età relativa delle formazioni geologiche.

PARTE SECONDA

Geologia storica

Classificazione delle roccie rispetto alla loro origine. — I materiali che compongono la parte accessibile del nostro globo sono le roccie, le quali alla loro volta sono formate di minerali.

Non è compito nostro occuparci né dei minerali che compongono le roccie, né dello studio descrittivo delle roccie stesse; ciò spetta alla Mineralogia ed alla Litologia. Ci interessa invece lo studio della loro genesi.

Si possono distinguere le roccie in varie categorie, a seconda della loro composizione mineralogica, della loro struttura, della composizione chimica ecc., cioè: roccie semplici e roccie composte, roccie massicce e roccie schistose, roccie cristalline e roccie clastiche o frammentarie, roccie acide e roccie basiche ecc. Ma queste distinzioni, importantissime pel litologo, sono di secondario interesse pel geologo, al quale, più che altro, preme conoscere l'origine delle roccie che compongono la così detta crosta terrestre.

Sappiamo che tre sono le categorie di agenti che modificano la superficie terrestre; e quindi anche le roccie e la loro costituzione, dando origine a nuove roccie, ossia: gli agenti esterni inorganici, gli agenti esterni organici, gli agenti interni.

Possiamo quindi distinguere le roccie in tre tipi, a seconda della loro origine.

Il primo tipo comprende quelle che debbono la loro origine agli agenti esterni inorganici, ossia le *roccie sedimentarie*; il secondo tipo è quello delle roccie originate per azione di organismi, ossia le *roccie biogeniche*; il terzo tipo è quello delle roccie dovute agli agenti interni, ossia le *roccie plutoniche* od *endogene* che dir si vogliano. Vanno aggiunte a queste ultime, come sottotipo, le *roccie metamorfiche.*

Di piú, se noi osserviamo le masse rocciose, vedremo che alcune si presentano *stratificate,* ossia suddivise in strati gli uni sovrapposti agli altri, il cui spessore può essere variabile, mentre altre invece non presentano traccia alcuna di stratificazione, ossia sono *massicce.* Ma pel geologo ancor piú importante è il fatto, che nelle roccie stratificate si sogliono il piú delle volte rinvenire resti di vegetali e d'animali, che mancano costantemente nelle roccie massicce. Procedendo nell'osservazione ci convinceremo inoltre che, mentre le roccie stratificate appartengono principalmente alle due serie delle roccie semplici e delle roccie clastiche o frammentarie, le massicce spettano invece esclusivamente alle roccie cristalline e composte. Ci occuperemo brevemente, tra poco, delle roccie massicce, di cui possiamo facilmente riconoscere l'origine endogena; ora limitiamoci allo studio delle roccie dovute agli agenti esterni, giacché, con esse principalmente, e coll'aiuto dei resti organici che contengono, potremo essere condotti a ricostruire la storia della terra.

Le formazioni di origine esterna possono ridursi a tre categorie, ossia: *depositi detritici* o *frammentari, depositi chimici* e *depositi organici.*

Roccie sedimentarie e di origine chimica. — I depositi di detriti, cui si dà anche il nome di *roccie clastiche*, sono dovuti all'accumularsi dei materiali che le onde marine, le acque dei fiumi, gli agenti atmosferici hanno strappato alle roccie preesistenti ed hanno depositato al fondo dell'oceano, di un estuario o di un fiume, formando i cosí

detti *sedimenti*. Generalmente questi sedimenti, depositatisi in acque tranquille, in senso orizzontale o quasi orizzontale, risultano formati di piú strati sovrapposti. Essi, a seconda dei materiali di cui sono costituiti, si distinguono comunemente in *arenacei* ed *argillosi*.

I primi presentano sovente assai distinti i granelli che li formano; non cosí i secondi, che risultano dalla agglutinazione degli elementi piú leggieri e piú a lungo sospesi nelle acque. Di piú le argille, formate da materiali fini e piú facilmente trasportabili, caratterizzano i sedimenti pelagici distanti dalla riva, mentre in vicinanza della riva si formano i depositi arenacei, costituiti da materiali piú grossi e quindi meno facilmente trasportabili.

Tra i depositi arenacei, occorre distinguere quelli a frammenti sciolti o liberi da quelli in cui tali frammenti sono riuniti da una sostanza cementante, che può essere di varia natura. A formare i depositi arenacei non cementati concorrono sabbie, ghiaie, ciottoli, blocchi piú o meno grossi, in cui ordinariamente predomina il quarzo.

Le ghiaie ed i ciottoli si mostrano con gli angoli e gli spigoli arrotondati, perchè, rotolando sul fondo, si sono urtati, sfregati e consumati; le sabbie invece conservano i loro granellini angolosi, perché nel loro trasporto esse sono state sospese nell'acqua.

Le sole morene glaciali hanno ciottoli angolosi, poiché essi sono stati trasportati in seno al ghiaccio. I ciottoli della morena di fondo, ed altri di morene laterali, possono per altro presentare striature ed arrotondature per la confricazione esercitata sul fondo o sulle pareti del ghiacciaio.

I depositi arenacei cementati distinguonsi col nome di *conglomerati*; ed a seconda della grandezza dei frammenti che li costuiscono, si dividono in *conglomerati veri* ed *arenarie*. I conglomerati veri risultano da elementi grossolani, e diconsi *breccie*, se formati da frammenti angolosi, *puddinghe* se costituiti da frammenti arrotondati. Breccie e puddinghe possono essere silicee o calcaree, a seconda della natura dei ciottoli che le costituiscono.

L'arenaria (*grès* dei Francesi) ordinariamente è costituita da granelli silicei uniti da cemento calcareo. Il vero nome di *grès* spetta peraltro a quelle arenarie i cui granuli sono cementati da silice.

Se il cemento è calcareo-argilloso, e vi si mostrano anche abbondanti pagliuzze di mica, l'arenaria prende il nome di *macigno*. Nell'Appennino bolognese il macigno è sviluppatissimo.

I depositi argillosi sono costituiti da silicati idrati di alluminio, mescolati spesso con quarzo e con mica, in frammenti cosí piccoli

da riuscire addirittura impalpabili. Quelli che contengono del calcare diconsi *marne*.

Non staremo qui ad accennare alla distinzione litologica delle argille. Quello che ci preme sapere è che le argille sono talora compatte e senza alcuna stratificazione, talvolta sono invece disposte in strati sottili, che possono sfaldarsi, ed allora si dicono *schistose*. Di queste roccie schistose esistono numerosissime varietà: ricordiamo tra le altre quelle che si sfaldano in sottilissime laminette, ossia le filladi (come ad esempio le *ardesie*) ed ancora quelle ricche di materiali bituminosi (*schisti bituminosi*), quelle impiegate ad arrotare i ferri, le quali contengono piccolissimi cristalli, specialmente di granato, cui debbono la notevole durezza (*novaculiti*) ecc.

Si soglion dire roccie *eoliche* quelle deposte sulla terra emersa per opera dei venti.

Le formazioni arenacee ed argillose sono dovute, come abbiam detto, alla deposizione di materiali sospesi in seno alle acque; ma altri depositi si formano per via chimica. Essi non sono certo molto estesi, nondimeno hanno pel geologo notevole importanza.

Le acque silicee depositano sugli orli della loro sorgente della silice, come abbiamo visto accadere pei gaiser d' Islanda; le acque calcarifere depositano calcare, come il *travertino*. Abbiamo già parlato dei depositi di limonite, di salgemma, di gesso. Le concrezioni calcaree e silicee che si rinvengono in varie roccie sedimentarie debbono pure la loro origine ad azioni chimiche. Cosí è per gli arnioni silicei della creta, per i noduli di siderite dei terreni carboniferi, alla cui formazione deve avere contribuito la presenza di resti organici in decomposizione, che è favorevole a simili concentrazioni di elementi dominanti nella roccia.

Roccie biogeniche. — Importantissimi sono poi i depositi di origine organica, che si riducono principalmente a due categorie: i *calcari* ed i *combustibili fossili*. Noi sappiamo già che non tutti i calcari sono di origine organica; ma non è men vero che la maggior parte delle grandi masse calcaree non si sono formate per via chimica, bensí per via organica. Cosí vi sono dei calcari distinti col nome di *luma-*

chelle, che debbono la loro origine ad una conglomerazione di conchiglie; vi sono i *calcarei nummulitici* che risultano da gusci di foraminifere cementati. La *creta* stessa non è che un aggregato di particelle minutissime derivanti da organismi inferiori. E nessuno avrà certamente dimenticato quanto abbiamo detto sulle isole coralline e sulla loro origine. Ricordammo anche le formazioni silicee, dovute a quelle microscopiche alghe silicee che sono le *diatomee*, ed ai *protozoi silicei.* Quelle alghe formano, con i loro scheletri, la *farina fossile* ed il *tripoli.*

Sono pure depositi di origine organica l'*antracite,* il *litantrace*, la *lignite*, la *torba*, dovute a lenta carbonizzazione di vegetali; le loro varietà dipendono dal diverso grado e dalla diversa durata della lenta disossidazione cui furono soggetti gli avanzi vegetali, e quindi dalla diversa proporzione di carbonio e di altre sostanze che contengono.

Piú di tutti ricca di carbonio è la grafite, anch'essa probabilmente di origine vegetale; vengono poi l'antracite, il litantrace, la lignite e la torba.

Roccie endogene. — Le roccie endogene essendo soggette alla azione di agenti ben diversi da quelli che operano alla superficie della terra, debbono necessariamente presentarsi con caratteri assai differenti da quelli delle roccie che abbiamo studiato fino ad ora.

Si solevano distinguere le roccie endogene in *vulcaniche* e *plutoniche.* Vulcaniche sarebbero quelle dall'interno della crosta terrestre sospinte alla superficie per opera dei fenomeni vulcanici; plutoniche invece quelle la cui origine non si credeva potesse direttamente riferirsi ai fenomeni vulcanici. Nondimeno questa distinzione è assai arbitraria; e varii scienziati, e lo Stoppani tra questi, han cercato di dimostrare che una vera distinzione fra roccie vulcaniche e plutoniche non si può fare.

Alla formazione delle une e delle altre hanno concorso tre agenti, ossia: elevata temperatura, notevole pressione e vapore acqueo; ed è solo alla prevalenza dell'uno o dell'altro di questi agenti che si debbono le differenze di strut-

tura tra le roccie manifestamente vulcaniche e le altre che a primo aspetto non si mostrano tali. Le une hanno potuto giungere all'esterno e colare alla superficie della terra sotto forma di grandi masse fluide, acquistando poi consistenza solida. Le altre non hanno raggiunto la superficie libera della terra; alcune di esse sgorgarono nelle profondità marine, sotto l'ingente pressione di un enorme strato di acqua, il quale ha impedito ai gas, che erano in esse contenuti, di svilupparsi, e quindi sono rimaste compatte, senza bollosità e senza vuoti, bollosità e vuoti che si rinvengono invece nelle roccie dovute all'azione vulcanica superficiale; altre si sono solidificate addirittura nell'interno della terra stessa. La questione nondimeno è complessa, e non abbiamo fatto altro che accennarla.

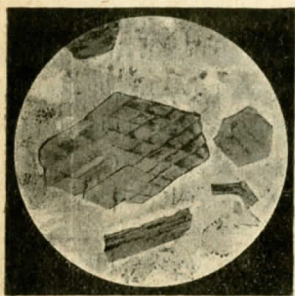



Fig. 76. — Diorite quarzifera porfiroide di Cossato nel Biellese.

Dai più si crede che le roccie endogene, dalla lava moderna al compatto granito chiuso fra antichissimi strati sedimentari, rappresentino nè più nè meno che le numerose transizioni dai vulcani subaerei ai sottomarini i più profondi ed alle masse rocciose solidificatesi nell'interno. Carattere principale di queste roccie è la struttura cristallina (fig. 76). Esse si presentano in *ammassi*, in *cupole*, in *colate*, in *filoni* o *dicchi*. In questo ultimo caso la loro origine endogena è evidente. La stratificazione è caso eccezionalissimo in queste roccie, e molte volte apparente; di più mancano di resti organici fossilizzati, ed i loro essenziali componenti sono i silicati, come feldspati, pirosseni, anfiboli, peridoto, miche, cloriti, zeoliti.

Gli *ammassi* hanno forma irregolarissima, e si trovano situati in generale nelle regioni centrali delle montagne, di cui talora formano le più elevate cime.

Le *cupole*, o *domi* che dir si vogliano, sono ammassi isolati di forma arrotondata.

Le *colate* sono originate da correnti di roccia fluida che si è stesa sulla libera superficie del suolo o nella profondità del mare. Per altro, in questo secondo caso, suolsi usare più comunemente il nome di *espandimento*, mentre si riserva alle correnti superficiali il nome di colate. In alcuni casi le colate si sono estese sopra immense superfici; così nell' Oregon e nell' Idaho (all' ovest delle Montagne Rocciose) le lave hanno coperto un territorio più esteso dell' intiera Italia con tutte le sue isole.

I *dicchi* in ultimo sono come muraglie di roccia, che attraversano altre roccie a guisa di veri filoni rocciosi. Questi o provennero dal basso, attraverso le fessure delle roccie, o vi colarono dall' alto, dalla massa fluida che scorreva alla superficie sgorgando dal cratere.

Roccie metamorfiche. — Una roccia è metamorfosata, sia quando da sedimentaria si trasforma in roccia cristallina, sia quando, pur essendo cristallina in origine e mantenendosi tale, subisce modificazioni di struttura o di costituzione. Quali azioni possono indurre tali modificazioni? Si tratta, in genere, di quelle stesse che hanno così grande influenza sulla formazione delle roccie eruttive; vogliamo dire della pressione, della temperatura, del vapore acqueo.

Il metamorfismo delle roccie incomincia alla superficie e va aumentando con la profondità. Le acque che filtrano, e che alterano la chimica composizione delle roccie, sono già agenti di metamorfismo; ma le azioni dissolventi, le azioni idratanti, quelle di decomposizione e ricomposizione, dovute alle acque, aumentano colla profondità, poiché ad esse si uniscono la aumentata pressione e la aumentata temperatura. Quindi, quanto più profonde sono le roccie, tanto più subiscono alterazioni; e siccome le roccie più antiche sono anche le più profonde, così le più antiche saranno le più metamorfosate.

I geologi sogliono distinguere varie sorta di metamorfismo, ossia: *metamorfismo regionale*, *idrotermico*, *meccanico*, *di contatto* e *meteorico*.

Il *metamorfismo regionale* si presenta su vaste estensioni e con modificazioni profonde; e le roccie che lo hanno subíto sono quelle che rimasero per lungo tempo nelle profondità terrestri. È probabile che il fenomeno orogenico sia la principale causa di tale metamorfismo.

Il *metamorfismo idrotermico* è in rapporto con la circolazione sotterranea delle acque, che, scaldandosi, esercitano sulle roccie potenti azioni chimiche.

Il *metamorfismo meccanico* è dovuto alla potente pressione esercitata dalle roccie sovrincombenti su quelle profonde; ma si può dire che la sua azione non è mai sola, perché il calore e l'acqua vi concorrono sempre.

Il *metamorfismo di contatto* ha luogo allorquando una roccia eruttiva attraversa delle roccie sedimentarie, od anche cristalline, e le modifica lungo la zona di contatto, in seguito a potenti reazioni chimiche e trasposizioni molecolari.

In ultimo il *metamorfismo meteorico* è quello dovuto all'azione delle acque superficiali e dell'atmosfera.

Alle tre principali cause di metamorfismo, ossia calore, pressione e temperatura, possiamo aggiungerne altre, quali sono i disquilibrii elettrici nelle masse rocciose, le attività molecolari e le cristallogeniche; ma in genere tutte possono ridursi alle tre fondamentali accennate.

Le roccie schistose sono veramente roccie metamorfiche, e cosí anche i calcari saccaroidi, le dolomie, e gli gneis.

Non ci dilungheremo maggiormente su tale argomento, per non uscire dai limiti imposti ad un trattato elementare; ci basti aggiungere questo solo, che il metamorfismo fa comparire la struttura cristallina nelle roccie sedimentarie, vi forma nuovi minerali e tende a distruggervi i resti fossili ed a cancellarvi i piani di stratificazione.

Filoni metalliferi. — I filoni metalliferi sono dovuti ad emanazioni termominerali avvenute nel passato, emanazioni simili in tutto e per tutto a quelle che si verificano anche oggi. Queste emanazioni si sono fatte strada attraverso le fessure delle roccie, trascinando con se cloruri, solfuri ed altri composti, ed hanno sciolto anche, sul loro passaggio, una parte degli elementi che attraversavano. Giunti presso la superficie, ove hanno trovata diminuita la temperatura, una gran parte delle sostanze si sono depositate sotto forma cristallina sulle pareti, hanno subìto l'azione delle acque superficiali e quella dell'ossigeno, e si spiega cosí perché la parte superiore dei filoni si presenti in generale molto ossidata. Di piú, per reazioni chimiche avvenute tra le sostanze dell'emanazione e tra queste e l'aria, si sono verificate delle decomposizioni, ed in molti casi i

metalli, saliti allo stato di combinazioni, si sono liberati e ridotti allo stato nativo. Cosí l'oro sembra sia salito allo stato di solfuro insieme a piriti di ferro; ma, in seguito ad un'azione ossidante, fu ridotto allo stato libero. In tal modo nel passato la terra si arricchiva di quei metalli, di cui in seguito l'uomo doveva fare suo prò.

FOSSILI

Conservazione dei fossili. — Col nome di fossili si intende di indicare i resti e le impronte di piante ed animali, sepolti negli strati terrestri ed ivi conservati. Ma si sogliono chiamare fossili anche le traccie di fenomeni avvenuti nel passato, come le impronte del movimento ondoso su certe spiaggie, le goccie di pioggia, le striature dei ciottoli, ecc.

La scienza si occupa dello studio degli esseri vissuti nell'epoche remote, quella meravigliosa scienza che desta dai loro sepolcri le faune e le flore del passato, e ne determina le condizioni d'esistenza, la ripartizione geografica, la distribuzione geologica, è la *Paleontologia*. Per essa i fossili rivivono dinanzi alla mente del naturalista e per essa gli arcani dell'origine delle specie ricevono fulgida luce.

I fossili sono in Germania indicati col nome di *petrefakte* o di *versteinerungen* (pietrificazioni). Questi nomi possono indurre nell'idea che un essere qualunque per divenir fossile debba essere pietrificato; ciò sarebbe erroneo, poiché vi sono fossili che non sono per nulla pietrificati. Cosí abbiamo conchiglie fossili non pietrificate; e nei ghiacci della Siberia furono trovati Mammut con le ossa, la carne e perfino i peli.

Bisogna anche aver cura di sbandire un'altra idea falsa, che può essere indotta nella mente di un principiante dal considerare che i fossili sono resti di animali sepolti negli strati formatisi nelle epoche passate, ossia che tutti gli esseri fossilizzati appartengano a specie estinte; poiché vi sono fossili di specie ancora viventi, come pure vi sono

specie estinte nell'epoca attuale, le quali si rinvengono, quindi, allo stato fossile.

« Fossili sono dunque tutti i resti di esseri organici, le « impronte loro, le impronte di fenomeni naturali, che si « trovano in strati formatisi in tempi che precedettero gli « attuali ».

Generalmente i fossili si trovano là ove hanno vissuto gli esseri cui appartennero; raramente possono essere stati trasportati d'uno in altro luogo. Vedremo quanto ciò abbia importanza per la determinazione della età relativa delle formazioni.

Di piú, affinché un essere vegetale od animale si conservi, sono necessarie alcune condizioni, prima delle quali è quella di non essere soggetto alla azione diretta degli agenti atmosferici. Ma siccome rarissimamente è possibile che esso sia totalmente sottratto a simili influenze, si capisce bene che i fossili debbono subire profonde modificazioni. Abbiamo ricordati i Mammut conservati con la loro carne ed i peli nei terreni gelati della Siberia. In questo caso il ghiaccio aveva protetto perfettamente l'animale dalle azioni esterne; ma simili favorevoli condizioni non si verificano sempre, anzi sono eccezionali. In generale i fossili sono modificati, sia per disfacimento e distruzione delle loro parti molli, sia per alterazione anche delle loro parti dure.

Le forze che agiscono nella fossilizzazione sono di due sorta, le une chimiche, le altre meccaniche.

Carbonizzazione. — I vegetali si carbonizzano, e ciò per una lenta disossidazione che facilmente ha luogo, quando essi trovansi sepolti nel fango e protetti da uno strato d'acqua. È raro che si carbonizzino gli animali, come accade tuttavia degli insetti racchiusi nell'ambra. Gli animali invece in generale si putrefanno, e scompaiono in essi completamente le parti molli e tutte le particelle organiche. Cosí le ossa dei vertebrati non conservano che le loro parti minerali, le conchiglie perdono il loro colore; e gli animali, che non hanno scheletro né interno né esterno,

si distruggono completamente, od al più, in rarissimi casi, lasciano la loro impronta sulla molle melma del fondo.

Pietrificazione. — Uno dei migliori modi con cui ci vengono conservati i fossili è la *pietrificazione*. Essa ha luogo quando alle particelle organiche che si disfanno si sostituiscono particelle minerali, talchè la forma, e spesso anche la struttura interna, ci resta perfettamente conservata, come nei legni silicizzati; ma questa sparisce completamente se la sostanza pietrificantesi subisce una cristallizzazione. Può darsi anche che tutti gli elementi del fossile sieno sostituiti da altre sostanze.

Fig. 77. — Conservazione dei fossili. - Modello interno *a*, ed esterno *b*, di *Phasianella Heddingtonensis* (dal Lyell).

Talora i resti organici si rivestono completamente di sostanza minerale, ossia restano *incrostati*. Se poi il resto organico si decompone, la incrostazione non ne conserverà che la forma esterna.

Modellamento. — Altro modo di conservazione dei fossili è il modellamento, che può essere interno od esterno (fig. 77). Supponiamo che in una conchiglia si distruggano le parti molli interne e che ivi corra a sostituirle una sostanza minerale, ad esempio calcare. Se le parti dure della conchiglia verranno a distruggersi, resterà il calcare, che era entrato nella conchiglia, a presentarci il suo modello interno; ma se il fossile è completamente distrutto in seguito, nella roccia che lo racchiudeva resterà uno spazio vuoto il quale ci darà il modello esterno del fossile.

Impronte. — Noi già dicemmo che anche certe impronte sono considerate come fossili.

Quest'impronte possono ridursi a due tipi, ossia le *impronte fisiologiche* e le *impronte inorganiche*.

Le impronte fisiologiche altro non sono che le vestigia dell'attività organica del passato, come le impronte di

passi di animali (fig. 78), le impronte dello strisciare di vermi, i fori dei litofagi.

Le impronte inorganiche non attestano invece che la presenza di certi fenomeni inorganici nel passato, come le goccie di pioggia, le impronte di onde, la striatura dei ciottoli.

Fig. 78. — Impronte di piedi di *Chirotherium Barthi* Kaup. Trias di Hessberg in Germania.

Importanza dei fossili. — I fossili hanno per il geologo un'importanza grande, giacché lo aiutano ad illustrare la storia della terra, mostrando anche, con la loro presenza, che moltissime roccie, assai profondamente metamorfosate, sono di origine sedimentaria.

Essi ci indicano, secondo che appartengono a specie di acque marine profonde, o di littorale, o di estuario, o di acqua dolce, se quel terreno in cui si rinvengono siasi formato in acque profonde o littorali, in estuari od in laghi; possono palesarci coi loro rapporti filogenici l'età relativa delle formazioni; ci attestano con quale ordine si svolse la vita alla superficie della terra, e quali condizioni di clima e di distribuzione delle acque e delle terre ebbero successivamente luogo nell'età passate.

Basterebbe ciò a far riconoscere la importanza dei fossili, se anche non si aggiungesse il fatto che essi, con le loro forme di transizione e col loro graduale perfezionamento, vengono largamente a rischiarare di luce vivissima la teoria della lenta e successiva modificazione delle specie.

Coproliti. — Chiudiamo questi brevi cenni sui fossili con due parole sulle *coproliti.* Sono questi gli escrementi di varî animali, che ci sono rimasti conservati allo stato fossile. Considerando le particelle che le costituiscono, possiamo desumere il regime alimentare dell' animale cui appartennero; cosí potremo ben dire che si trattava d'un carnivoro, se le coproliti presenteranno frammenti di ossa. Anzi sono le coproliti dei carnivori che assai facilmente si conservano fossili, come quelle che piú sono ricche di sostanze minerali.

PRINCIPII SU CUI SI BASA LA CLASSIFICAZIONE DELLE FORMAZIONI

Per scrivere la storia della terra, occorre determinare l'età relativa dei terreni che la formano. Due sono i metodi da seguirsi per giungere a tale risultato, l'uno complemento dell'altro, ossia: lo studio della stratificazione dei terreni, e lo studio dei fossili conservati nei varî strati.

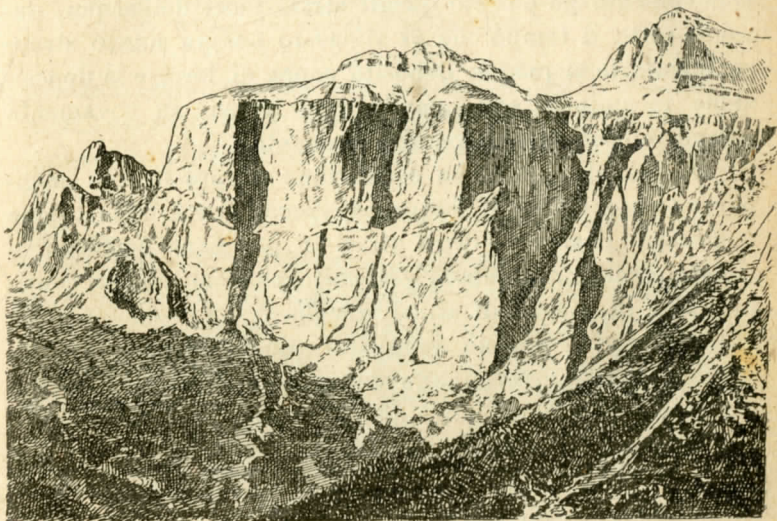



Fig. 79. — Gruppo di Sella in Tirolo, visto dalla Cima di Rossi. Calcari e schisti triassici. Esempio di stratificazione orizzontale.

La natura litologica dei varî strati non ci può essere che di aiuto secondario, giacché terreni litologicamente uguali possono essersi formati in tempi diversissimi, mentre terreni litologicamente differenti possono essere contemporanei.

Criteri stratigrafici. — Incominciamo dallo studio della stratificazione. Le roccie stratificate sono roccie di sedimento, depositate in seno alle acque. Quindi debbono necessariamente essersi deposte in senso orizzontale o quasi, sovrapponendosi le une alle altre; ne viene, come logica conclusione, che lo strato piú profondo deve essere anche il piú antico, come quello che si è per il primo depositato (fig. 79).

Se noi troveremo strati di origine littorale, sovrapposti a strati di origine profonda, dovremo necessariamente ammettere un sollevamento nel fondo marino, mentre riconosceremo un abbassamento là ove a strati di origine costiera troveremo sovrapposti strati di origine pelagica.

Ma questo modo semplicissimo di ragionare si imbatte in difficoltà non indifferenti. Ed infatti la serie degli strati può essa presentarsi interrotta? Senza dubbio, poiché se il sollevamento ha portato quegli strati fuori dell'acqua, durante tutto il tempo che vi rimasero nessun nuovo strato sedimentario acqueo si depositò sopra di loro, e la deposizione incominciò solo quando quel terreno fu novamente sommerso per successivo abbassamento.

Di piú gli strati non conservano sempre la loro originaria orizzontalità. È frequente, specialmente nelle catene montuose, il trovare degli strati in posizione verticale; e generalmente questi strati verticali non sono che la continuazione di pieghe di strati, pieghe o curve che talvolta giungono ad avere un raggio di piú chilometri. Queste curve di strati determinano dei sollevamenti e delle concavità, e s'indica col nome di *sinclinale* (fig. 80 e 81) la linea che corrisponde ad una concavità, *anticlinale* la linea che corrisponde ad una convessità delle curve. Talvolta le curve giungono ad essere strettissime, come, ad esempio, si possono osservare nella costa orientale della Scozia.

Per verificare sperimentalmente il modo di prodursi di tali curve negli strati, basta prendere alcuni pezzi di stoffa di vario colore, di cui ognuno rappresenterà uno strato, e premerli quindi lateralmente fra due libri. Si produrranno delle curve ripetute, proprio come negli strati naturali.

Al geologo occorre moltissime volte di dover determinare l'*inclinazione* degli strati. Ciò si può ottenere ricorrendo al *clinometro*, apparecchio formato da un piccolo pendolo che ordinariamente è annesso alla bussola, notando che « l'inclinazione d'uno strato è l'angolo che esso fa con un piano orizzontale ». Quanto poi alla *direzione* d'uno strato

essa è « l'angolo che una retta orizzontale disposta sopra una faccia dello strato fa col meridiano del luogo ». Bisogna però avvertire che talvolta le testate degli strati possono presentarsi perfettamente orizzontali, pure essendo gli strati

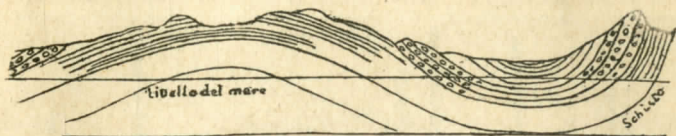



Fig. 80. — Sezione del Forfarshire da N W. a S E, con un sinclinale ed un anticlinale (dal Lyell).

inclinati. Supponiamo una vallata che tagli longitudinalmente un anticlinale; ivi gli strati appariranno orizzontali, eppure in realtà non sono che la continuazione di una curva.

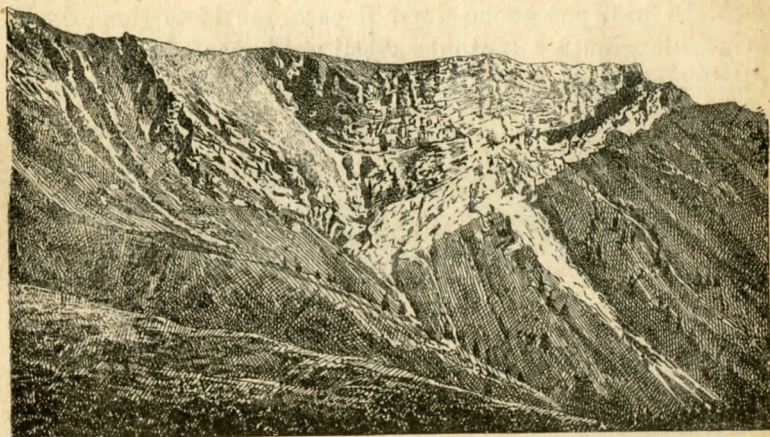



Fig. 81. — Veduta, dal Passo di Fedaia verso oriente, nella Marmolada, sui confini della provincia di Belluno. Sinclinale di calcari triassici in mezzo a schisti.

La emergenza degli strati alla superficie del suolo ha ricevuto il nome di *affioramento*. In alcuni casi affiorano piú strati che sono tra loro paralleli e quasi verticali. Come determinare, senza ricorrere ad altri dati, oltre quelli stratigrafici, la loro età relativa? Può essere benissimo che questi strati non sieno che il resto di un anticlinale, di

cui sia stata completamente asportata la parte superiore, ed allora uno degli strati sarà la continuazione di un altro, come potremo vedere immaginando di ricostituire le curve nella fig. 80, e non saranno tutti quanti diversi fra

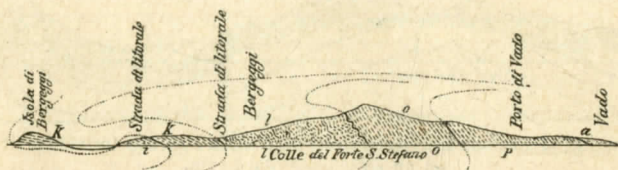



Fig. 82. — Rovesciamento di strati nel promontorio di Bergeggi. Riviera di Ponente in Liguria.

a, Pliocene. - *i*, Marmi del trias superiore. - *k*, Trias medio. - *l*, Paleozoico. *o*, Conglomerati granitici e gneiss verdi. - *p*, Diorite.

loro. Di piú, può anche darsi il caso che la torsione degli strati sia giunta a tanto da averli perfettamente rovesciati (fig. 82 e 83) ed allora il piú profondo non sempre sarà il piú antico.

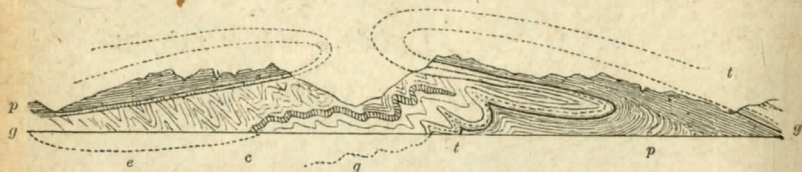



Fig. 83. — Inversioni di strati nelle Alpi presso il Lago di Walenstadt. Cantoni di Glarus e San Gallo in Isvizzera.

e, Eocene in strati discordanti colla Creta. - *c*, Creta. - *g*, Giura. *t*, Trias. - *p*, Paleozoico.

Allorquando si trovano sovrapposti strati di diversa inclinazione, la stratificazione dicesi *discordante* (fig. 84). In tal caso è evidente che tra la deposizione degli strati della serie inferiore e la deposizione di quelli della serie superiore vi è stata una interruzione, durante la quale quelli della serie inferiore si sono spostati (inclinati o piegati), dopo di che è incominciata la deposizione della serie superiore (fig. 85).

Altri fatti, che vengono ancora piú a confondere la cronologia delle formazioni basata sulle sole considerazioni stratigrafiche, sono le *fratture* delle roccie e le *faglie*. Gli

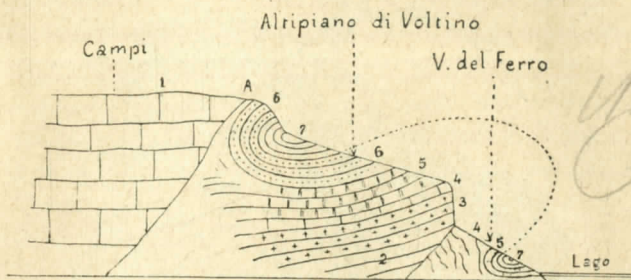



Fig. 84. — Esempio di stratificazione discordante a Tremosine (dal Cozzaglia).

A-B. Faglie o rigetti. - 1. Dolomia ad *Avicula exilis*. - 2. Triassico. 3. Lias inf. - 4. Lias sup. - 5. Giura medio. - 6. Creta inferiore. - 7. Creta.

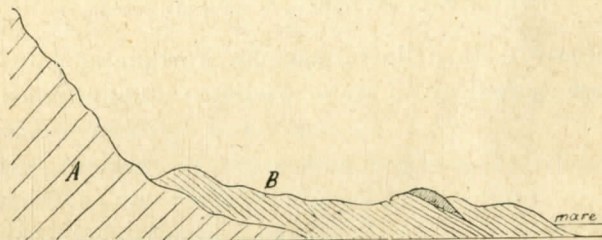



Fig. 85. — Sezione del Monte Calvo presso Nizza. — Esempio di stratificazione discordante fra gli strati secondari (*A*) ed i pliocenici (*B*) (dal Lyell).

strati presentano spessissimo delle fratture (fig. 86) e non è raro il caso che, per lo scorrimento d'una parte della roccia sull'altra, gli strati dell'una e dell'altra parte della frattura non si trovino piú in corrispondenza. Allora si ha una faglia (fig. 87), o *rigetto*, o *salto* che dir si voglia. Queste faglie sono frequentissime nei depositi di carbon fossile, ove spesso uno strato di carbone termina bruscamente con una muraglia rocciosa; ed allora all'ingegnere occorre guidare i minatori o piú su o piú giú, a seconda che gli verrà indicato dalla direzione del salto e dalla natura degli strati, per poter ritrovare lo strato carbonifero.

Pieghe adunque ripetute, anticlinali smussati, strati discordanti, salti, rovesciamenti di strati, ecco le difficoltà in cui s' imbatte il geologo per potere stratigraficamente

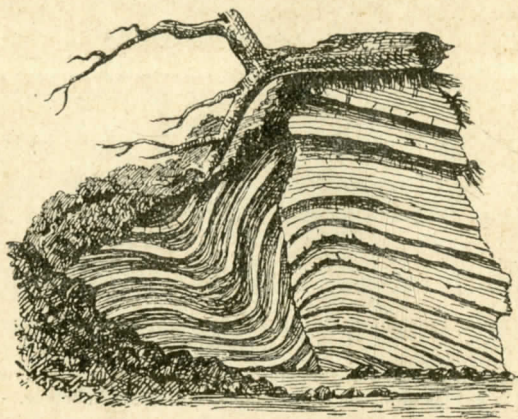



Fig. 86. — Piega con frattura di strati (dal Neumayr).

determinare l' età delle formazioni. Fortunatamente i fossili possono venirgli in aiuto. Vediamo adunque come l'età relativa delle formazioni geologiche possa determinarsi anche mediante i criteri paleontologici.

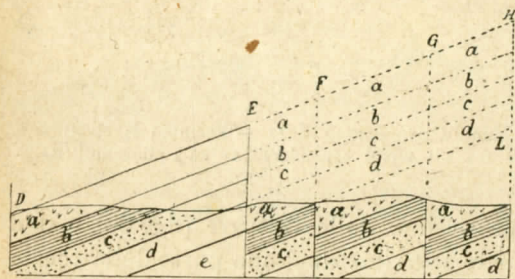



Fig. 87. — Rigetti o faglie a gradinata (le lettere indicano la successione degli strati) (dal Lyell).

Criterî paleontologici. — I fossili sepolti nei sedimenti ci concedono di giungere ad alcune conclusioni, che hanno un valore grandissimo per determinare l' età relativa dei sedimenti.

L' osservazione ha dimostrato infatti che i fossili dei terreni più antichi appartengono tutti a specie estinte, e, per la maggior parte, anche a generi estinti; ed è solo nei terreni più recenti che si trovano delle forme iden-

tiche alle attuali; anzi, quanto piú dall'antico si viene verso l'attualità, tanto piú appariscono delle relazioni col mondo organico vivente.

Le flore e le faune si succedono con lo stesso ordine negli strati di tutta la terra, cosí che le formazioni tra loro stratigraficamente piú vicine presentano minor differenza nella fauna e nella flora, di quella che passa tra le piú lontane; ed i fossili di uno strato non sempre si trovano in uno strato superiore, ove anzi, il piú delle volte, sono sostituiti da forme differenti od analoghe.

Si aggiunga poi che ciascuna specie possiede una vita limitata, talché una specie è destinata, prima o poi, a scomparire.

Da tutto ciò facilmente si deduce che l'età relativa di uno strato sarà indicata dal grado di somiglianza dei suoi fossili con i fossili attuali; paragonando tra loro i diversi strati, diremo che quelli che contengono gli stessi fossili sono, in generale, della stessa età, e concluderemo che piú antichi saranno quegli strati, che contengono fossili piú differenti dagli esseri attuali.

Bisogna però avvertire che, non essendo stata sempre uniforme la distribuzione delle condizioni vitali sulla terra, può benissimo essere accaduto che, pel cambiare di tali condizioni, certe specie abbiamo emigrato, seguitando a prosperare in altre regioni diverse da quelle ove prima si trovavano. I medesimi fossili potranno in tal caso rinvenirsi in strati di età diversa; perciò, ripetiamo, solo in tesi generale si può dire che gli strati che contengono i medesimi fossili sono contemporanei.

Specie caratteristiche. — In certi strati alcuni fossili si fanno notare per la loro costante presenza, talché bastano essi per determinare un orizzonte geologico sopra estensione piú o meno vasta. Tali specie si indicano col nome di *specie caratteristiche*; ed esse ci permetteranno di attestare il sincronismo di depositi di natura litologica differente. Anche il sincronismo di depositi di regioni molto lontane tra loro potrà essere determinato dalle cosí dette

specie rappresentative, specie la cui differenza da regione a regione è sufficientemente spiegata dalle diverse condizioni geografiche; esse hanno tra loro grandi rapporti, se non nella forma, certamente nelle condizioni vitali.

Né potremo sempre dire che strati contenenti fossili diversi non sono contemporanei. Infatti le formazioni lacustri di un terreno non conterranno i medesimi fossili delle formazioni marine contemporanee, e quelle di acque marine profonde non i medesimi fossili delle acque marine littorali.

Criteri litologici. — Ultimi, in ordine di importanza, per la determinazione della età relativa delle formazioni, vengono i criteri litologici.

Infatti già abbiamo fatto osservare come possano formarsi contemporaneamente ed in diverse regioni roccie di natura litologica diversissima, mentre roccie uguali possono originarsi in periodi di tempo diversi.

Un principio solo è per altro concesso di stabilire, ed è il seguente: « In una medesima località, od in località vicine, le roccie sedimentarie sono uguali se originatesi nella stessa epoca, differenti in caso contrario ».

Questo principio ha un valore molto limitato, e non va applicato che con grande prudenza, e solo quando sia corredato dalle prove offerte dalle considerazioni stratigrafiche e paleontologiche.

È bensì vero, ad esempio, che il *pliocene*, uno dei periodi più recenti della vita della nostra terra, è principalmente caratterizzato da marne turchine e da sabbie gialle; ma non è men vero che nel pliocene si formarono anche altre roccie.

In conclusione possiamo essere sicuri di invocare con giusto apprezzamento i caratteri litologici, indipendentemente dagli altri caratteri, solo quando si tratti di considerare l'età di roccie metamorfiche, che sono certo anteriori all'azione che le ha metamorfosate, o di frammenti di roccia inclusi in altre, poiché certamente la roccia includente sarà più giovane dei frammenti inclusi.

Determinazione dell' età delle roccie eruttive. — Visto come si possa stabilire l' età relativa delle roccie sedimentarie, occorre sapere come può determinarsi l' età delle roccie eruttive. Una tale determinazione presenta notevoli difficoltà. Ciò che è certo si è, che ogni roccia è piú antica di qualunque altra che siasi fatta strada attraverso le fessure della prima. Spesso il geologo è chiamato a constatare la relazione che passa tra le roccie eruttive ed i terreni sedimentari circostanti; ed allora, con l' aiuto della paleontologia e della stratigrafia, applicate allo studio degli strati che la roccia eruttiva attraversa, egli potrà precisare il quando ed il come quella roccia eruttiva si fece strada attraverso i terreni sedimentari. Si può anche dire, in generale, che una roccia eruttiva è piú giovane dei terreni che essa ha metamorfosato.

La determinazione dell'età di una colata lavica è assai piú facile, quando si possa provare che essa è colata liberamente nell' aria o sotto l' acqua; in tal caso è evidentemente piú moderna degli strati sottoposti, piú antica dei sovrapposti. Ma in molti casi è difficile dire se si tratti di una vera colata, o di masse espanse lateralmente ed insinuatesi tra i piani di stratificazione delle roccie sedimentarie.

Le difficoltà adunque non sono poche, e debbono essere risolute caso per caso dal geologo, con la piú accurata osservazione.

Cenni sulla classificazione e sull'ordine di successione degli animali e delle piante che vissero nel passato. — I fossili, sotto il punto di vista paleontologico, vengono classificati come gli esseri viventi; ma esistono gruppi intieri di animali e di piante, che non hanno i loro corrispondenti negli esseri che popolano oggi la terra.

Dal punto di vista della storia della terra i fossili vengono invece classificati a seconda dei terreni e dei piani, ed è questa la classificazione veramente utile per il geologo.

Con questo metodo possiamo vedere che si succedettero sulla terra varie faune e varie flore, che queste si modificarono gradatamente e lentamente, e che dalle prime im-

perfettissime forme si passa a forme sempre piú perfette, sino all'uomo.

Pei vegetali si trovano nei terreni piú antichi le impronte di alghe, ciò che prova che esse furono molto probabilmente le prime a comparire. Che contemporanei ad esse fossero i funghi, e che forse anche le abbiano precedute, è cosa che si può supporre; disgraziatamente la natura dei funghi si presta cosí poco alla fossilizzazione, che vengono a mancare tutte le prove di fatto. Con questo non intendiamo dire che manchino completamente i funghi allo stato fossile anche in terreni recenti, chè, anche in Italia, ne furono trovati, e ricordiamo una specie di *Poliporus*, rinvenuta in Toscana nei terreni più recenti.

Seguono in ordine di tempo le crittogame vascolari o protallogame, poi le gimnosperme; recente è la comparsa delle angiosperme monocotiledoni, cui tien dietro quella delle dicotiledoni, che possono dirsi la principale caratteristica del periodo attuale.

Le prime traccie di fossili animali appartengono ai protozoi, e propriamente ai radiolari; ma, dopo, tutte le altre divisioni degli invertebrati (eccettuati forse gli insetti) compaiono quasi contemporaneamente, benché con forme molto meno perfette delle attuali.

Assai più caratteristica e spiccata appare la transizione dai tipi meno perfetti ai più perfetti nei vertebrati.

Piú antichi di tutti sono i pesci, e fra questi i primi fossili sono costituiti da spine di natatoie di selaciani e da frammenti di corazza di placodermi.

Seguono subito gli anfibi, i quali, sia per la loro distribuzione geologica, come per la loro organizzazione, si distinguono in due gruppi, ossia gli *stegocefali*, od anfibi antichi, e gli *anfibi propriamente detti*, o recenti. I primi, cosí per lo sviluppo notevole dello scheletro dermico, come per il carattere primitivo dello scheletro interno, hanno rapporti coi pesci ganoidi; i secondi invece si avvicinano molto ai rettili.

Pare anzi che gli stegocefali debbansi considerare come

lo stipite da cui hanno avuto origine e anfibi e rettili. I labirintodonti, di cui troveremo nel seguito di questo libro figure e descrizioni, sono un esempio di questi anfibi.

Vengono poi, in ordine di tempo, i rettili, che raggiunsero nel passato uno sviluppo di gran lunga superiore all'attuale. Alcuni hanno dimensioni sí grandi e forme cosí strane, da richiamare alla mente i mostri favolosi rettiliformi che vissero e vivono nella fantasia dei pópoli. Ne vissero nell'aria, nell'acqua, sul suolo. Grande importanza l'hanno i saururi, perchè formano un termine di passaggio tra gli uccelli ed i rettili.

Discendenti dunque dei rettili, e quindi assai piú recenti, sembrano essere stati gli uccelli; ma i resti ne sono scarsi, giacché essi raramente vivono in luoghi ove sia facile la conservazione delle loro ossa. Meritano menzione gli uccelli provvisti di denti e di lunga coda formata da numerose vertebre.

Poco tempo dopo la comparsa dei rettili, fanno la loro apparizione sulla terra i mammiferi. Sembra che i primi resti di mammiferi debbansi riferire ai marsupiali. Alcuni autori vorrebbero riferirli ai monotremi; ma la cosa è assai dubbia, tanto piú che vi ha chi ammette invece l'esistenza di due primitivi ordini, che sarebbero ora completamente estinti, lasciando come loro successori i marsupiali e gli insettivori.

È un fatto però, che anche i mammiferi si seguirono nell'ordine filogenetico, dal piú imperfetto al piú perfetto e piú recente, che è l'uomo, l'ultimo a comparire sulla faccia della terra.

CRONOLOGIA
DELLE FORMAZIONI GEOLOGICHE

Nonostante tutte le difficoltà sopra accennate, sono pur sempre i fossili che offrono il mezzo piú sicuro per riconoscere l'ordine cronologico delle roccie stratificate. Lo spessore di queste roccie raggiunge i 54.000 metri. Il tempo che fu impiegato nella loro sedimentazione, deve, senza

alcun dubbio, essere stato enorme; ma ogni calcolo per rappresentarlo con cifre sarebbe erroneo, giacché non possiamo conoscere con precisione la rapidità con cui la sedimentazione aveva luogo nelle epoche passate, poiché le condizioni della terra possono essere state, e sono state infatti, diversissime.

La paleontologia ha dimostrato che flore e faune si succedettero sulla terra; e talvolta una fauna scompare, col maggior numero delle sue specie, quasi completamente e bruscamente, con corrispondente importante cambiamento litologico e spostamento di strati.

Una tale brusca scomparsa di fauna e flora, che non sempre, per altro, si verifica, segna pel geologo il limite di un *sistema*. « *Un sistema è, adunque, l'insieme di tutti gli strati caratterizzati dalla presenza di una stessa fauna e di una stessa flora* ». Cronologicamente al sistema corrisponde il *periodo*.

Piú sistemi formano un *gruppo*, come piú periodi un *êra*.

Un sistema è suddiviso in *serie*, ogni serie in *piani*, ogni piano in *strati*; e, cronologicamente, alla serie corrisponde l'*epoca*, al piano l'*età*, come nel prospetto che segue:

DIVISIONE STRATIGRAFICA	DIVISIONE CRONOLOGICA
Gruppo	Era
Sistema	Periodo
Serie.	Epoca
Piano	Età
Strato	

Tutte le divisioni secondarie del sistema sono pure fondate sulla scomparsa o sul cambiarsi di un certo numero di specie.

Si avverta però che i limiti fra i sistemi sono tutt'altro che assoluti. Alcuni geologi lo ammettevano pel passato, e primo fra questi il grande Cuvier,[1] ritenendo che

[1] Celebre naturalista francese, nato nel 1769, m. nel 1832.

di tanto in tanto violenti ed improvvisi cataclismi avessero sconvolto tutta la terra, distruggendone completamente la fauna e la flora; dopo di che una nuova vita sarebbe venuta a ripopolare il nostro globo.

Ma oggi una tale teoria, che ebbe il nome di *teoria dei cataclismi*, non è affatto ammissibile. Oggi si ammette, col Lyell,[1] che la terra si modificò lentamente per le stesse cause che lentamente la modificano oggi. Tempi immensamente lunghi furono impiegati in tali trasformazioni; talché cause in apparenza assai deboli, agendo per tempi infinitamente lunghi, sono giunte a produrre effetti meravigliosi. La teoria del Lyell è nota col nome di *teoria delle cause reali* o, meglio, delle *cause attuali*.

Gli esseri organici non sono bruscamente scomparsi, né bruscamente sono stati di nuovo creati; ma si sono lentamente ed incessantemente modificati. Quindi è fuori di dubbio che non può esistere un limite preciso fra i varii sistemi; e se ogni sistema ha i suoi fossili caratteristici, è pur vero che oggi la scienza ci rivela continuamente nuove forme di passaggio tra strato e strato, tra serie e serie, tra sistema e sistema.

Non si deve pertanto arrivare alla conclusione che le formazioni geologiche siano divisioni completamente artificiali, perchè è fuori di dubbio che grandi cambiamenti nella distribuzione della terra e delle acque avvennero al finire dei vari periodi, cambiamenti non improvvisi al certo, ma tali da alterare profondamente l'aspetto di una regione, e sufficienti a fissare il limite di una divisione.

Rilievi e carte geologiche. — Per rappresentare graficamente la struttura geologica del terreno di una data regione, o di un dato paese, i limiti dei diversi terreni e l'estensione secondo la quale essi appaiono alla superficie del suolo, si fanno i rilievi e le carte geologiche, di cui abbiamo esempi anche in questo libro.

---

[1] Carlo Lyell, celebre geologo inglese, autore della classica opera, *Principî di Geologia*, n. nel 1797, m. nel 1875.

Per procedere alla compilazione di una carta o di un rilievo geologico è, prima di tutto, necessario formarsi un concetto ben chiaro delle condizioni geografiche della regione che si vuole studiare sotto l'aspetto geologico; quindi occorre conoscere la natura litologica delle roccie che vi si trovano, raccogliere i fossili che esse contengono, determinare la direzione e la posizione relativa degli strati.

A tale scopo è cosa utilissima perlustrare le naturali spaccature, prodotte spesso dall'erosione operata dai fiumi e dai torrenti, che mettono a nudo le testate degli strati, oppure ricorrere alla ispezione delle trincee delle ferrovie, delle gallerie, ecc.

Non si creda che in pratica la cosa riesca molto facile. Il principiante si imbatte in ostacoli di ogni genere; e solo ricerche lunghe e continuate possono mettere il geologo in grado di tracciare con esattezza carte e sezioni geologiche.

Per le *carte geologiche*, sulla stessa carta topografica che ha servito per guidarci nella ispezione del paese si possono segnare i confini dei terreni, distinguendoli o con colori diversi o con diversi segni convenzionali. Questi colori furono fissati nel Congresso geologico internazionale di Bologna, ed a questi si è attenuto il compilatore della carta geologica d'Italia a questo libro unita.

Si usano anche segni convenzionali per indicare la posizione degli strati e la loro direzione.

Per segnare i limiti dei diversi terreni non basta compiere l'esplorazione in una sola direzione, ma occorre replicare le operazioni in diverse direzioni, attorno a quello che avremo scelto come punto di partenza per le varie ricognizioni, in modo da potere, nel miglior modo possibile, tracciare la linea di confine tra terreno e terreno, linea non mai regolare, e spesso sinuosa. È necessario l'uso della bussola da geologo e del barometro per determinare le altitudini.

Le *sezioni geologiche* sono riproduzioni grafiche di spaccati naturali od artificiali, oppure sono anche teoriche,

quando si appoggiano sopra concetti ricavati dall' osservazione del terreno.

Le stesse tinte e gli stessi segni delle carte geologiche servono per le sezioni.

Devesi aver cura di indicare con esattezza la direzione della sezione, l' estensione dei vari terreni, gli affioramenti dei vari strati.

Quando è possibile si deve curare di adottare la stessa scala per le altezze e per le larghezze; ma talora può occorrere (e ciò si deve indicare) che le altezze sieno in scala maggiore, quando cioè la piccola scala non permettesse di raffigurare esattamente tutti i particolari della sezione.

Alla costruzione della carta geologica d'Italia contribuirono da prima i privati, tra i quali vanno ricordati lo SCARABELLI ed il COCCHI.[1] Ma lo scopo non sarebbesi raggiunto, se il governo non avesse pensato anch' esso a cosí importante argomento. QUINTINO SELLA, il grande statista e naturalista italiano che tutti conoscono,[2] fu il primo che nel 1861 fece ordinare per decreto reale la costruzione della carta geologica d'Italia. In seguito nel 1867 si fondò un R. Comitato Geologico, e nel 1879 fu istituito un Ufficio Geologico addetto al R. Corpo delle Miniere. Si cominciarono i rilievi geologici dal mezzogiorno verso il settentrione. A lavoro compiuto la carta geologica d'Italia (al 100.000) sarà formata di 277 fogli, di cui nel 1897 erano già pubblicati 46. Il congresso geologico di Bologna del 1881 votava una carta geologica d'Europa nella scala di 1: 1.500.000 della quale è già compiuta la parte che riguarda l' Italia.

Ere geologiche. — I geologi divisero dapprima i terreni in tre grandi gruppi, basandosi su quei criterî paleontologici, dei quali abbiamo discorso prima, e denominandoli: *Paleozoico* o degli animali antichi, *Mesozoico* o degli animali di mezzo, e *Cainozoico* o *Cenozoico*, ossia degli animali recenti. Piú tardi, per le ragioni che ve-

---

[1] SCARABELLI, geologo italiano morto recentemente ad Imola (collaborò col Massolongo allo studio delle piante fossili del terziario di Senigallia). — COCCHI, geologo, prof. emerito a Firenze.

[2] Nato a Mosso di S. Maria nel Biellese, il 27 luglio 1827, morto il 13 marzo 1884.

dremo piú avanti, si credé opportuno di dividere in due il gruppo piú recente, e formare cosí anche il gruppo *Neozoico*; divisione che per altro non è, anche oggi, accettata da tutti. In questo modo i gruppi divennero quattro, e cosí le *êre* corrispondenti, che si chiamano anche: *Êra primaria* (o paleozoica), *êra secondaria* (o mesozoica), *êra terziaria* (o cenozoica) ed *êra quaternaria* (o neozoica).

Ma la scoperta e lo studio di terreni antichissimi nel suolo americano, che, sebbene stratificati, si credettero dapprima sprovvisti di qualunque traccia organica, fece sí che i geologi americani creassero un altro gruppo, piú antico di tutti, il gruppo *Azoico*, nome cambiato poi in *Arcaico*, per le ragioni che vedremo tra poco.

Cosí la maggioranza dei geologi divide ora la storia della terra nelle seguenti cinque grandi *Ere*, cui corrispondono altrettanti gruppi di terreni, cioé: 1.° *Era arcaica*; 2.° *Era paleozoica*; 3.° *Era mesozoica*; 4.° *Era cenozoica*; 5.° *Era neozoica*.

ERA ARCAICA

Questa prima êra ricevé nomi diversi dai varii autori, talché è chiamata *azoica, archeana* od *archica, preprimaria* o *prepaleozoica*, *arcaica*.

È da bandirsi il nome di *azoica*, perché esso racchiude il falso concetto che vi sia mancata intieramente la vita.

L'era arcaica è caratterizzata dai terreni cristallini stratificati, con passaggio da una minutissima struttura cristallina ad una molto grossolana; e la schistosità loro accennerebbe appunto ad una origine sedimentaria, modificata poi, in seguito a profonde azioni di metamorfismo.

La stratificazione dei terreni arcaici non è affatto uguale in tutto il loro spessore, poiché vi sono strati sottilissimi e strati che raggiungono molti metri di spessore.

Lo spessore di tutta la formazione è enorme, poichè va dai 15 ai 20 chilometri; talchè abbiamo in essa rappre-

sentata quasi la metà della massa stratificata totale a noi accessibile. Le roccie che la costituiscono sono: gli *gneiss*, che dal granito non si distinguono che per la struttura schistosa, dovuta alla deposizione parallela delle laminette di mica; il *micaschisto*, formato essenzialmente da quarzo e mica in zone alternate; la *quarzite*, aggregato di cristalli e di grani quarzosi; l'*anfiboloschisto*; il *cloroschisto*; il *talcoschisto*; le *filladi* o schisti argillosi; i *calcari cipollini* ed altre poche. Si tratta di roccie principalmente schistose, ma tutte cristalline, e molto evidentemente cristalline metamorfiche.

In ordine di posizione gli gneiss, cui si unisce anche il granito, formano la base del gruppo arcaico; ad essi seguono gli schisti cristallini ed in ultimo vengono le filladi.

Benchè il gruppo degli schisti cristallini presenti grandi difficoltá per una suddivisione in sistemi, nondimeno, specialmente per gli studi fatti in Inghilterra e nell'America settentrionale, si divide il gruppo arcaico in tre sistemi, ossia: *sistema degli gneiss fondamentali*, *sistema laurenziano*, *sistema uroniano*. Il primo è caratterizzato dagli gneiss; il secondo riceve il suo nome dal fiume S. Lorenzo in America, sulle rive del quale trovasi molto sviluppato; il terzo prende il nome dal lago Huron.

Le rocce cristalline del laurenziano sono a stratificazione piú o meno manifesta, e presentano anche calcari granulari o saccaroidi e dolomie; nell'uroniano si trovano schisti silicei, quarziti, arenarie, calcari ed anche veri conglomerati.

Scarsi sono i fossili, e limitati all'uroniano, e fra questi vanno ricordate alcune radiolarie (*Spumellaria* e *Nassellaria*), ed alcuni spongiari silicei. Importantissima è la presenza di radiolarie nello schisto siliceo di Saint-Lô in Bretagna. Altri organismi debbono assere esistiti in quelle epoche; ma il metamorfismo li ha in quelle roccie completamente cancellati. Che la vita vi fosse lo dimostrano anche i depositi calcarei, la grafite e l'antracite, la cui origine è organica.

Possiamo anche concludere che nell'era arcaica esistettero mari e terre emerse, poiché senza terre emerse ben difficilmente si potrebbe spiegare la deposizione di terreni sedimentari in seno alle acque; né si spiegherebbero i conglomerati di cui abbiamo poco sopra parlato, i quali sono formati dall'ammucchiarsi sulla spiaggia di ciottoli rotolati dalle acque marine o trasportati dai fiumi.

Parlando dell'era arcaica non possiamo a meno di dire due parole su quel singolare *Eozoon canadense*, trovato nel laurenziano del Canadà, nel quale alcuni autori si ostinarono a vedere una colossale foraminifera, mentre altri, e probabilmente con più ragione, lo considerano come una inquinazione di calcare nel serpentino. Alle stesse conclusioni vanno soggetti l'*Eozoon bavaricum* e l'*Eozoon bohemicum*, che non tardarono a farsi scoprire dopo l'*E. canadense.*

L'arcaico in Italia. — I terreni arcaici costituiscono nelle nostre Alpi il nucleo principale di varii gruppi montuosi, come quelli del Monte Rosa, del Gran Paradiso, del Bernina, delle Alpi Graie; avendosi nella parte media gli gneiss fondamentali ed il laurenziano, ed ai fianchi l'uroniano; se ne hanno lembi alla base della serie stratigrafica nell'isola dell'Elba con notevoli rapporti con quelli della Corsica; raggiungono grande potenza in Calabria ed in Sardegna (gneiss di Caprera e del golfo degli Aranci, micaschisti dell'Iglesiante, della Nurra); si presentano nei monti Peloritani della Sicilia. L'Appennino di Savona è in grandissima parte formato da terreni uroniani; e se ne trova anche qua e là qualche piccolo lembo nel Veneto. A questi terreni sono riferibili i giacimenti di magnetite di Cogno in Piemonte.

L'arcaico fuori d'Italia. — Sviluppatissimi, come abbiamo visto, nell'America, al Canadà, si ritrovano questi terreni anche al Brasile, nella Guiana, nelle Ande del Cile e del Perú. Hanno grande potenza nella penisola Indiana, nell'Imalaia, nel Giappone, nell'Affrica e nell'isola di Madagascar.

In Europa occupano vasta estensione in Norvegia, in Baviera, nell'altipiano centrale della Francia, nella Brettagna, nei Vosgi, nella Scozia. Coi terreni arcaici si connettono importanti miniere di ferro.

ERA PALEOZOICA

Coll' êra paleozoica o *primaria* incominciano le traccie manifeste ed abbondanti della vita; ed in essa il geologo trova una guida luminosa per essere condotto attraverso il passato. Questa vita, che comincia al principio dell' êra paleozoica con tipi abbastanza elevati, ed aumenta sempre di perfezione fino al periodo *permiano*, presuppone una lunga serie di antenati, le cui traccie forse si persero, per le profonde metamorfosi cui andarono soggette le formazioni più antiche.

Gli strati formatisi in questa êra si raggruppano in cinque sistemi: *cambriano, siluriano, devoniano, carbonifero, permiano.* Tuttavia alcuni autori, notando che non esiste un limite netto tra gli ultimi due sistemi, ne fanno un sistema solo col nome di *permocarbonifero*; ed altri tralasciano addirittura il cambriano, comprendendo nel siluriano anche le formazioni fossilifere che seguono immediatamente al gruppo arcaico.

Sistema cambriano. — Nel sistema cambriano, così detto dell' antica Cambria, ora paese di Galles, compariscono chiaramente i fossili. Da prima le traccie ne sono assai indistinte, poiché nei piani inferiori dominano ancora schisti cristallini, che mostrano ben chiari gli effetti del metamorfismo.

Ma a questi schisti ne succedono altri argillosi, ricchissimi dei resti di una fauna marina, cui il BARRANDE diede il nome di *fauna primordiale.* Si accompagnano a queste roccie argillose anche roccie calcaree.

Si calcola che lo spessore degli strati cambriani ascenda a 5000 metri; e si sogliono distinguere in due serie, l'una *inferiore* o *di Potsdam,* l'altra *superiore* o *cambriano calcifero.*

Le roccie predominanti sono schisti rossi o violetti, conglomerati, arenarie e breccie nelle parti più basse; poi

sedimenti littorali formati di arenarie. Vi si trovano anche argilloschisti e quarziti, diaspri e calcari.

La fauna cambriana comprende, fra gli altri, dei fossili singolari, come quelli del genere *Oldhamia,* in cui alcuni vogliono rinvenire traccie di anellidi, altri invece delle alghe.

Ma gli esseri piú importanti della fauna primordiale sono le trilobiti (fig. 88). Questi animali, che appartengono alla classe dei merostomi, affine a quella dei crostacei, ed attualmente rappresentata dal genere *Limulus*, sono caratterizzati dall'avere il corpo longitudinalmente diviso in tre lobi, mentre sono chiaramente distinti la testa, il torace e l'addome. Alcune specie di trilobiti hanno gli occhi notevolmente sviluppati, e infinitamente sfaccettati; ma le trilobiti cambriane sono cieche: solo nel siluriano inferiore si trovano le trilobiti con occhi svilup-patissimi.

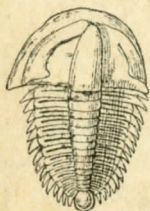



Fig. 88. — *Olenopsis Bornemanni*, Meneghini. Cambriano di Porto Canalgrande nel circondario d'Iglesias in Sardegna.

Il dorso di questi animali era coperto da una forte corazza, formata da uno scudo cefalico, da uno scudo caudale o pigidio, e, tra i due scudi, da pezzi mobili, in numero vario a seconda delle specie, i quali permettevano all'animale di avvoltolarsi a palla. La sola corazza si credette fosse stata conservata allo stato fossile; del lato ventrale per lungo tempo non fu dato trovare che un solo pezzo corneo, l'ipostoma, che è il labbro inferiore. Accurate ricerche hanno potuto condurre anche alla scoperta degli arti, hanno dimostrato l'esistenza di antenne, ed hanno fatto sí che sia stato possibile seguire lo sviluppo embrionale di molte forme.

Le trilobiti presentano un numero stragrande di specie, e si può dire che soltanto pochi generi di trilobiti cambriane si rinvengono ancora nella parte inferiore del siluriano. Tra queste trilobiti ricordiamo i generi *Paradoxides*, *Agnostus*, *Sao* ecc.

A questi esseri si associano brachiopodi dei generi *Lingula*, ed *Obolus* (fig. 89). Questi sono sviluppatissimi nel

cambriano, e merita particolar menzione la *Lingulella ferruginea.* Predominano i brachiopodi a conchiglia cornea sopra quelli a conchiglia calcarea; e questo è carattere esclusivo del cambriano, poichè negli altri terreni i brachiopodi cornei sono rarissimi.

Fig. 89. — Brachiopodi del Cambriano. - 1 e 2 *Lingulella ferruginea* (1, grandezza naturale - 2, ingrandito) — 3 e 4, *Obolus Apollinis* (dallo Zittel).

Gli altri gruppi del regno animale sono molto scarsamente rappresentati. Vi si trovano alcuni echinodermi, alcuni pteropodi, degli spongiari, ed il *Dictyonema* che sembra riferibile ad un idrozoario. Compariscono qui tra gli idrozoarî anche le graptoliti, che hanno poi il loro mas-

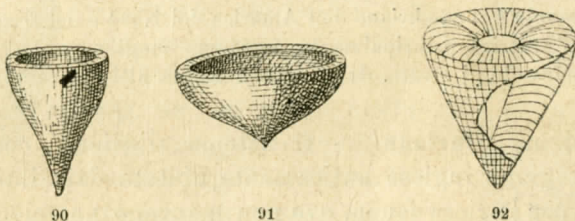



Fig. 90. — *Archaeocyathus infundibulum*, Bornemann. Cambriano di Punta Pintau presso Canalgrande in Sardegna.

Fig. 91. — *Archaeocyathus Ichnusae*, Meneghini. Cambriano di Punta Pintau presso Canalgrande in Sardegna.

Fig. 92. — *Coscinocyathus verticillus*, Bornemann. Cambriano del circondario d'Iglesias in Sardegna.

simo sviluppo nel periodo successivo. Devesi ricordare anche il genere *Nautilus*, tra i cefalopodi, il quale si è conservato attraverso ai secoli fino a noi, tanto che ancora ne vivono almeno tre specie. Anche il genere *Lingula*, sopra citato, si è conservato fino ad oggi. Importanti tra gli actinozoi sono gli *Archaeocyathus* (fig. 90-91) ed i *Coscinocyathus* (fig. 92), trovati anche nel cambriano della Sardegna.

Di flora terrestre manca ogni traccia.

È da notarsi che in questo periodo la vita è comparsa con forme assai elevate, ciò che fa sempre più presupporre l'esistenza di forme più semplici nell'era arcaica; di più i depositi cambriani hanno carattere principalmente littorale, perciò i continenti debbono essere stati poco estesi e poco stabili. Il fatto che il cambriano presenta una notevole concordanza sulle due rive, europea ed americana, dell'Atlantico, ha fatto supporre possibile l'esistenza di un antico continente, che fu denominato Atlantide.

Il cambriano in Italia. — È sviluppato nelle Alpi ed in Sardegna a Canalgrande presso Iglesias, ove è rappresentato da calcari, da diaspri, da filladi, da quarziti, in cui si annidano importantissimi filoni di piombo e di zinco.

Il cambriano fuori d'Italia — Il sistema cambriano è sviluppatissimo nel Paese di Galles e nello Shropshire, come anche in Scozia e Scandinavia, dove se ne possono distinguere parecchie zone. Si rinviene nelle Ardenne, nell'altopiano centrale della Francia. Celebre è il cambriano di Boemia, cui si lega il nome di un noto paleontologo, il BARRANDE.

Notevole è il cambriano dell'America del Nord e del Brasile, poiché nell'America principalmente troviamo meglio caratterizzata la successione degli strati, dagli arcaici ai più alti del cambriano.

Sistema siluriano. — Il sistema siluriano, così detto dalla regione inglese anticamente abitata dai Siluri, è notevole per la ricca fauna, ove non mancano nemmeno i vertebrati, poiché negli ultimi tempi del periodo sono comparsi i primi pesci. Sviluppatissimi sono principalmente gli animali marini inferiori, che, per numero e varietà di specie, non furono sorpassati da veruno dei successivi sistemi; vi si trovano infatti più di 10.000 specie.

Le roccie sedimentarie vi sono rappresentate da conglomerati, argille, calcari; e gli studi dei sedimenti hanno dimostrato che le rive di quei lontani mari furono instabili e paludose. Vi si trovano anche roccie di origine interna, particolarmente granitiche.

Il siluriano suol dividersi in due serie: la serie inferiore con grès e calcari, e predominanza di roccie detritiche; la

serie superiore in cui sono sviluppati schisti argillosi, schisti calcari e calcari argillosi.

La fauna del siluriano è ancora costituita in predominio dalle trilobiti di un gran numero di generi, come: *Calymene*, *Trinucleus*, *Asaphus*, *Dalmanites* (fig. 93). Per la prima volta si trova nel siluriano superiore di Gotland un animale a respirazione aerea, uno scorpionide, ed un altro (*Proscorpius*) viene dal siluriano superiore di New-York.

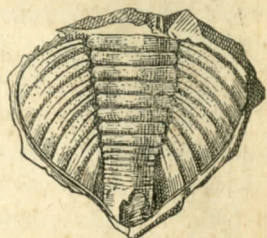



Fig. 93. — *Dalmanites Lamarmorae*, Meneghini. Siluriano di Perdiscedda nel circondario d'Iglesias in Sardegna.

Nel siluriano inferiore della Francia fu trovata un' ala d' insetto (un ortottero); ed un miriapode fu trovato nel siluriano inferiore dell'Estonia. Sviluppatissimi vi sono i cefalopodi, di cui si contano più di 1600 specie, coi generi *Nautilus*, *Orthoceras*, *Gomphoceras* (fig. 94), ed alcuni molluschi eteropodi come le *Conularie* (fig. 95). Alcuni *Orthoceras* giungono sino a due metri di lunghezza. Alla sommità del sistema si trovano i *Goniatites*, cefalopodi di cui pare che l' argonauta sia il rappresentante vivente. Abbondano i brachiopodi dei generi *Lingula*, *Ortis*, *Pentamerus*, *Spirifer*, *Rhynconella*. Meno abbondanti sono i lamellibranchi ed i gasteropodi; e tra i lamellibranchi va ricordata, perchè fossile caratteristico, la *Cardiola interrupta*. Vi sono molti crinoidi e cistoidi (*Echinosphoerites*, *Holocystites*, ecc.) (fig. 96 e 97). Particolarmente notevoli sono i cistoidi, perchè

Fig. 94. *Gomphoceras bohemicum*, Barrande. Siluriano di Boemia.

Fig. 95. *Conularia laqueata* Meneghini. Siluriano di Perdiscedda nel circondario d'Iglesias in Sardegna.

presentano forme di transizione per cui si considerano come antenati delle altre classi di echinodermi. Si sogliono distinguere i crinoidi in paleocrinoidi, limitati ai periodi piú antichi e neocrinoidi, che si rinvengono nei terreni piú recenti.

È in questo periodo che ha il suo massimo sviluppo la famiglia delle *Graptoliti* di cui non è nota con certezza la posizione sistematica nè l'affinità. Esse somigliano ai briozoi ed ai coralli; ma ne differiscono perchè le parti conservate sono chitinose, ed i piccoli calici sboccano in un canale comune (fig. 98, 99, 100). Abbondano anche i polipai, specialmente nel siluriano superiore;

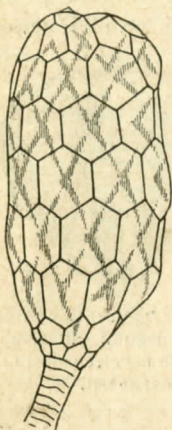



Fig. 96. — *Holocystites cylindricus*, Hall. Siluriano dell'America settentrionale.

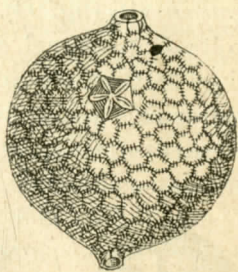



Fig. 97. — *Echinosphaerites aurantium*, His. Siluriano di Pulkowa presso Pietroburgo.

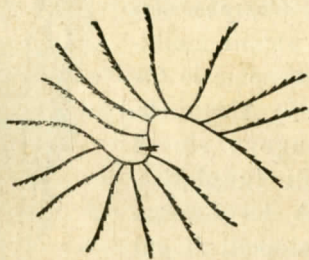



Fig. 98. — *Coenograptus gracilis*, Hall. Siluriano inferiore del Canadà.

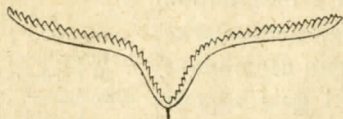



Fig. 99. — *Didymograptus fractus*. Siluriano inferiore di Skiddaw in Inghilterra.

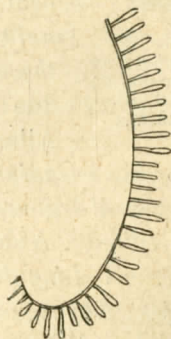



Fig. 100. — *Rastrites peregrinus*. Siluriano superiore

nè mancano, benchè piuttosto scarsi, i protozoi. Alla sommità del sistema compaiono i pesci; ma i loro resti sono

frammentari, ridotti a qualche squama, a qualche osso ed a pochi denti; nondimeno è permesso dire che essi appartenevano ai ganoidi ed ai placodermi.

La flora terrestre è poverissima, il che dimostra che le terre emerse non dovevano raggiungere una grande estensione. Si tratta di poche licopodiacee, appartenenti tutte a famiglie oggi estinte.

Il sistema siluriano in Italia. — Questo sistema è sviluppatissimo principalmente in Sardegna, ove fu studiato ed illustrato dal La Marmora e dal Meneghini.[1] È rappresentato da schisti argillosi e micacei e da calcari. Si trova anche nelle Alpi Apuane; è scarso all'Elba ed in Sicilia. Il Taramelli ne mostrò l'esistenza nel Friuli presso Pontebba, e nella Carnia. Anche in Calabria ed in Sicilia, ad oriente, si trovano terreni che sono stati riferiti al siluriano.

Il siluriano fuori d'Italia. — In Inghilterra ne abbiamo il più classico esempio; ed ivi è ricchissimo di fossili; anzi in alcuni punti la roccia è un vero ammasso di polipai. Nel paese di Galles il siluriano inferiore è formato da strati di arenarie e da schisti di una potenza di circa 3000 m. con qualche banco di calcare. La presenza di banchi e di filoni di diabase e di porfidi dimostra anche che là, nel siluriano, arsero potenti vulcani.

Importantissimo è il siluriano della Svezia, per la ricchezza di fossili e per la disposizione orizzontale degli strati; nè minore sviluppo ha questa formazione nella Russia.

Il sistema siluriano della Boemia (illustrato da Barrande) vi forma un bacino, in cui si annoverano circa 4000 specie fossili.

Nella Normandia, nella Linguadoca, nei Pirenei si hanno strati siluriani, i quali non mancano neppure nel Belgio.

Sviluppatissimo è poi il sistema nell'America del Nord, nel Brasile, nella Cina, nelle regioni artiche, ove si trovano grandi polipai; il che prova che su tutto il globo si estendeva un clima tropicale.

Nell'America del Nord, dal Missouri agli Allegani, si trovano marne e fanghi con fossili benissimo conservati; ma agli Allegani si manifesta un profondo metamorfismo. I sedimenti dell'America del Nord hanno anche questo di singolare, che in grandissima parte

[1] Giuseppe Meneghini, notissimo scienziato italiano, nato a Padova nel 1811, morto a Pisa, ove era professore di geologia nella Università, nel gennaio del 1889.

della regione gli strati siluriani, come i sottoposti cambriani ed i sovrapposti devoniani, si trovano nella loro posizione originaria.

Sistema devoniano. — Il devoniano deve il suo nome alla contea di Devon in Inghilterra; gli fu dato dai geologi inglesi il nome di *vecchia arenaria rossa* (in inglese *old red sandstone*).[1]

Carattere fondamentale di questo periodo è il rapido estendersi dei vertebrati, e lo stabilirsi della vegetazione terrestre. Questo ultimo fatto dimostra che nel periodo devoniano si formarono dei continenti. Tutto poi concorre a dimostrare che sulla intiera superficie della terra doveva regnare un clima uniforme.

Le roccie che vi predominano sono le arenarie, ed in generale le roccie clastiche; vi si trovano anche, ad attestare l'interna attività del globo durante quel periodo, roccie ignee, come graniti, diabasi, tufi vulcanici, alle quali è dovuto anche un notevole metamorfismo nelle roccie sedimentarie con loro a contatto. Importanti sono anche i calcari e le ricche miniere metallifere (rame e ferro) incluse nelle roccie cristalline.

Nel sistema devoniano i pesci compariscono con numero veramente sorprendente di forme e d'individui, mentre scompaiono affatto le graptoliti, che tanto sviluppo avevano raggiunto nel periodo precedente. I pesci a scheletro osseo, che sono predominanti nella fauna ittiologica attuale, mancano completamente nel devoniano. Vi predominano invece i pesci a scheletro cartilagineo, quali i selaciani, i ganoidi, i placodermi. I selaciani a forma di squalo, come i *Cladodus*, non hanno lasciato che denti e robusti aculei ossei. Molto più comuni e completi sono i resti di ganoidi, oggi assai scarsamente rappresentati. La pinna caudale dei ganoidi devoniani è costantemente ete-

---

[1] Gl'Inglesi hanno anche il *new red sandstone*, o *nuova arenaria rossa*, che corrisponde al *triassico*.

rocerca (alcuni dei viventi l'hanno invece omocerca); principale è il genere *Holoptychius* (fig. 101). Degni di nota sono anche i generi *Osteolepis* e *Dipterus*, il quale ultimo ricorda per la dentatura gli attuali dipnoi. Singolarissime sono le forme di placodermi, pesci corazzati per mezzo di grandi e forti piastre ossee; e tra questi merita menzione il genere *Cephalaspis*, che ha il capo corazzato ed enormemente svi-

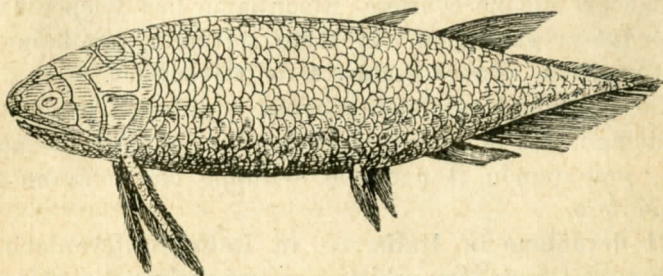



Fig. 101. — *Holoptychius*. - Pesce del devoniano - (dal Traquair).

luppato, ed il tronco gracilissimo. Il genere *Coccosteus* ha tutto il capo e tutto il tronco corazzato.

Va ricordato anche un piccolo pesciolino vermiforme, il *Palaeospondylus*, trovato recentemente, e simile ai moderni ciclostomi. Abbondano i brachiopodi dei generi *Spiriferina* (fig. 102), *Rhynconella*, *Pentamerus*. Tra i cefalopodi sono sviluppatissime le *Goniatites* e le *Climenia*, appartenenti al gruppo delle ammoniti, che compaiono qui a

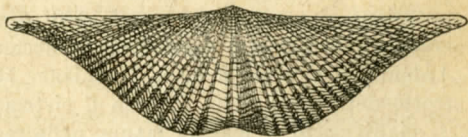



Fig. 102. — *Spiriferina mucronata* del devoniano.

compensare la decadenza dei nautili. Esse hanno conchiglie avvolte a spira e concamerate. Abbondano lamellibranchi e gasteropodi. Le trilobiti si riducono a poco a poco, e scarseggiano per numero di specie. Si rinvennero nell'America settentrionale inglese poche traccie di insetti, cioè porzioni di ali riferibili a nevrotteri; e si citano anche alcuni resti di miriapodi. Ma ciò che è notevole, è lo sviluppo

considerevole dei calcari di origine organica, formati in grandissima parte da idrozoi come la *Stromatopora*, *Pachystroma* ecc. I polipai esistono, e ricordiamo tra gli actinozoi la *Calceola sandalina*; ma non sono essi che concorrono a formare la massa dei calcari organogenici del devoniano.

La flora devoniana è discretamente sviluppata. Si tratta però per la massima parte di piante crittogame, fatta eccezione per alcune conifere. Ricordiamo una licopodiacea, *Psilophyton*, pianticina con fusto sottile a ramificazione dicotoma, che sembra esclusiva del devoniano.

Le protallogame (felci arboree, sigillarie, calamarie) acquistano già in questo periodo una importanza notevole, preludiando il notevole sviluppo che avranno nel carbonifero.

Il devoniano in Italia. — In Italia il devoniano si trova nella Carnia, con schisti e calcari nodulosi, contenenti brachiopodi, goniatiti, e, nella parte superiore, climenie.

Nel Fluminese e nel Gerrei in Sardegna si appoggia direttamente sul siluriano, ove si presenta con talcoschisti ed argilloschisti, e, sopra, con calcari azzurrastri a goniatiti e climenie. Pare anche che si debbano ascrivere al devoniano gli schisti che formano la base di Monte Comolino di Stilo, in Calabria.

Il devoniano fuori d'Italia. — Nell'Inghilterra e nella Scozia il devoniano ci attesta la formazione di grandi lagune. Il Belgio è emerso; e nel distretto della Mosa si accumulano i sedimenti. Oltre le Ardenne si estende il mare devoniano. Ha grande estensione nel distretto del Reno; ed in Boemia il sistema è rappresentato da diversi piani, ricchi di fossili; manca nella regione Baltica e ricomparisce in Russia. Sviluppatissimo è poi nell'America del Nord, ove predominano le roccie sabbiose argillose sui calcari, e nel Brasile. Fu scoperto anche al Marocco, in Siberia, in Cina ed in Australia.

Sistema carbonifero. — Il sistema carbonifero è caratterizzato dai grandi depositi di carbone fossile, che ci attestano l'esistenza di una rigogliosa flora terrestre.

Esso è suddiviso in tre piani: uno inferiore, di origine marina, privo di carbon fossile, rappresentato da una roccia

calcarea di potenza mirabile, che va talvolta fino a 275 metri di spessore, ed è ricca di coralli e di conchiglie marine; un piano medio con grès quarzosi e conglomerati, con schisti argillosi, con scarsità od anche assenza di carbon fossile; un piano superiore di schisti argillosi, ove trovansi appunto i letti di carbon fossile. Ciò prova che la flora terrestre ebbe il suo massimo sviluppo nella serie media e superiore.

La serie inferiore, o *calcare di montagna*, presenta strati di passaggio promiscui fra il devoniano ed il carbonifero; la serie media ebbe in Inghilterra il nome di *millstone grit* (pietra da macine), la serie superiore quello di *carbonifera*. Questa suddivisione è possibile in alcune località inglesi; in altre si riduce a due sole serie; al *calcare di montagna* ed alla serie *carbonifera* propriamente detta.

Fig. 103. — *Pentatremites piriformis*, Hall. Carbonifero.
Fig. 104. — *Schizoblastus melonoides*, Worthen. Carbonifero inferiore.

Le roccie della serie carbonifera sono in gran parte clastiche, e ci attestano d'essere dovute a depositi d'acqua dolce o d'acqua marina littorale. Un notevole sviluppo lo ha anche il calcare. Scarse sono le roccie di origine interna. Tutto ci attesta una lenta emersione dei continenti.

Tra gli animali marini inferiori carboniferi e quelli devoniani vi è notevole somiglianza. Vi si trovano abbondanti le foraminifere e specialmente le *Fusulina*, che sono numerose nel calcare di montagna.

I coralli hanno nella formazione carbonifera una grande importanza, poichè varie specie vi sono principalmente e largamente diffuse, appartenenti ai generi *Cyathophyllum*, *Syringopora*, ecc.

Abbondano i crinoidi dei generi *Poteriocrinus*, *Cyathocrinus*; piuttosto rari sono gli altri echinodermi. Raggiungono in questo periodo il loro massimo sviluppo i blastoidi, che con esso si estinguono (fig. 103, 104). I cistoidi, forme

di echinodermi semplicissime, numerosissime nel siluriano, si riducono qui ad un solo genere.

Abbondano anche i brachiopodi, e tra i più caratteristici sono quelli dei generi *Productus* (fig. 105), *Spirifer*, *Terebratula*. È da notarsi che alcune conchiglie di terebratula hanno conservato ancora il colore della conchiglia vivente.

Tra i cefalopodi abbondano i *Goniatites* ed alcuni *Orthoceras*.

Numerosi sono i lamellibranchi ed i gasteropodi; e vanno ricordate, tra i primi, la *Posidonomya Becheri*, specie caratteristica, e tra i secondi i bellerofontidi e vari gasteropodi terrestri (*Pupa*).

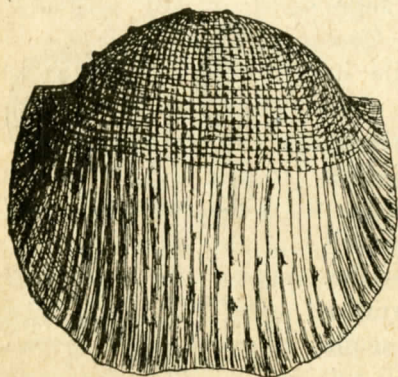



Fig. 105. — *Productus semireticulatus* del carbonifero d'Inghilterra (dal Römer).

Le trilobiti scompaiono a poco a poco; pochi generi ancora le rappresentano.

Si sviluppano insetti neurotteri ed ortotteri, i quali, per la loro affinità coi congeneri attuali, ci permettono di potere asserire che si trattava di tipi viventi in località umide e calde; eranvene di colossali, con ali di 30 centimetri di lunghezza. Più rari erano gli aracnidi, tra cui diversi scorpioni ed opilionidi; e, sebbene scarsi, vivevano anche i miriapodi.

I pesci sono meno numerosi che nel devoniano, e costituiti da altri ganoidi eterocerchi; i placodermi subiscono un notevole regresso. Ma ciò che è particolarmente notevole si è che compaiono per la prima volta gli anfibi. Essi tradiscono la loro comparsa con impronte di passi, come il *Sauropus primaevus*, e ad essi appartennero i labirintodonti.

I labirintodonti o stegocefali (fig. 106) avevano pelle scagliosa, ed una particolare struttura a numerosissime ed intralciate pieghe nei denti. Degli stegocefali alcuni somigliano alle attuali salamandre, altri alle lucertole, altri a piccoli coccodrilli. Nel cranio, oltre le orbite e le cavità nasali, si trova un altro foro parietale, in cui sembra si annidasse un terzo occhio. Essi vivevano nell'acqua dolce, e si sono rinvenute anche le loro forme larvali, per le quali appunto vennero riferiti agli anfibi.

Fig. 106. — *Seelya pusilla*, Fritsch. Carbonifero di Nyran in Boemia.

Mentre i primi anfibi compaiono negli strati più bassi del sistema, i primi rettili compaiono nei più alti. Così il primo è l'*Eosaurus* d'America, rettile nuotatore con vertebre simili a quelle dei pesci; ma è nel successivo periodo permiano che i rettili si sviluppano di più.

Importantissima a studiarsi è la flora carbonifera. In questa flora mancano addirittura tutte le fanerogame angiosperme; abbondano invece le crittogame vascolari o protallogame e le gimnosperme.

Le licopodiacee erano rappresentate da alberi alti ben 30 o 40 metri, come i *Lepidodendron* (fig. 107), le *Sigillaria* (fig. 108), di cui le *Stigmaria* non sarebbero che le radici. Queste piante avevano il tronco con corteccia coperta da cicatrici fogliari e da resti di foglie, in ordine fillotassico perfetto. Esse costituiscono il

carattere principale di questo periodo, e certamente formarono fitte ed estesissime foreste.

Fig. 107. — *Lepidodendron Sternbergi*, Brongniart. Carbonifero.

Si hanno felci arborescenti, come *Pecopteris, Caulopteris, Neuropteris* (fig. 109), alte fino 18 metri, le quali ornavano quei continenti carboniferi. Conviene per altro avvertire che molti di questi generi sono stati recentemente riconosciuti non propri e veri generi, ma tipi di nervazione che si riscontrano in molti gruppi di felci.

Fig. 108. — Restaurazione di Sigillarie in dimensioni molto ridotte.

Fra le equisetacee ricordiamo le *Calamites*, alte 4 o 5 metri (fig. 110), ed i *Calamodendron*; tra le anulariacee gli *Asterophyllites* (nome questo con cui si sono compresi i resti di piú vegetali probabilmente di varii generi). Tra le gimnosperme sono degni di nota i generi *Cordaites* (fig. 111), *Walchia*, *Ullmannia*, ecc. Le *Cordaites* erano alberi con fusto eretto, ramificato alla cima, con foglie

lanceolate o nastriformi. Per le loro infiorescenze si riconobbe che costituiscono un gruppo vicino a quelli delle conifere e delle cicadacee.

Il carattere saliente della flora carbonifera è piú la abbondanza ed il vigore degli individui, che la ricchezza e la varietà delle specie. Tipi di piante, che oggi hanno modesti rappresentanti, furono rappresentati allora da veri colossi.

Fig. 109. — *Neuropteris Loshii*, Brongniart. Carbonifero.

Al principio si nota una particolare uniformità nella distribuzione geografica dei vegetali, ma poi. tale geografica distribuzione si accentua meglio.

Fig. 110. — *Calamites* restaurate e ridotte.

La predominanza di licopodiacee e di felci sembra attestarci la presenza di un clima umido, di una temperatura uniforme su tutta la terra e dell'assenza di ghiaccio.

Ma i concetti da cui i naturalisti sono partiti per giungere a questa conclusione non sono perfettamente esatti. Infatti non è vero che per formare depositi di carbone fossile occorra una ricchissima vegetazione.

I vasti depositi di torba sono infatti costituiti da meschine pianticelle, e si formano in regioni fredde o temperate. Ma anche ammessa la necessità di una vegetazione rigogliosa, è falso che questa non si sviluppi che in regioni molto calde; lo provano le grandi foreste oggi viventi in regioni temperate. Nè le felci arboree provano la presenza di clima caldo, giacchè prima di tutto se ne trovano anche oggi in regioni della zona temperata; ed in

secondo luogo non è sempre esatto concludere che, se gli attuali rappresentanti di certi tipi vivono oggi in determinate condizioni di clima, debbono necessariamente essere vissuti nelle stesse condizioni i loro antenati.

Quindi la sola conclusione cui si può giungere con certezza è quella che il clima era uniforme, ma non caldo.

Si volle anche, a spiegare gl'ingenti cumuli di carbon fossile, che l'atmosfera fosse ricchissima di anidride carbonica; ma anche questa ipotesi è molto arbitraria, poichè, a spiegare l'origine dei banchi di carbone (dovuto certamente all'immagazzinamento del carbonio contenuto nell'anidride carbonica dell'aria) bastano anche le condizioni odierne; l'anidride carbonica consumata dalle piante è, in gran copia, compensata da quella che rimandano nell'aria le mofete ed i vulcani; ed infatti anche nel carbonifero avvennero varie eruzioni, come già ne erano avvenute in precedenza nel devoniano e nel siluriano.

Fig. 111. — Ramo di *Cordaites* in dimensioni molto ridotte. Carbonifero.

Origine del carbon fossile. — Che il carbon fossile risulti da ammassi di legname, carbonizzati lentamente per decomposizione in seno ai sedimenti in cui si trovano sepolti, non vi ha dubbio; ma, come questi grandi ammassi di legname siensi formati, è cosa sulla quale non tutti i geologi sono d'accordo.

Gli uni vogliono che si tratti di legnami fluitati, e sepolti nei fanghi alle foci dei fiumi; e citano, in appoggio della loro opinione, le ingenti zattere di legname che si accumulano anche oggi in certi fiumi, come ad esempio nel Mackenzie, e nel fiume Rosso affluente del Mississippi.

Altri invece vogliono che si tratti di vere foreste sepolte per l'abbassarsi del suolo su cui vegetarono.

Ma, pur riconoscendo che questa seconda opinione è la piú giusta, bisogna convenire che alla formazione del carbone fossile ha concorso anche il legname fluitato. A provare che intiere foreste furono sommerse e poi carbonizzate, basta osservare che in varii bacini carboniferi furono trovati alberi intieri, in posizione verticale, relativamente al piano degli strati che li contengono; le radici poi si stendono in generale in uno schisto argilloso sottoposto.

Il carbonifero in Italia. — In Italia si hanno terreni di questo sistema presso il piccolo S. Bernardo, nella valle della Dora Verney, con arenarie e schisti carboniosi, con pochi strati antracitiferi, con calamiti, lepidodendri ecc.

Nella Valle Stretta (Dora Riparia) seguita la formazione carbonifera, dopo cui si ha un lembo carbonifero con molta antracite a Demonte, a Viozene, a Calizzano, a Bormida.

Nelle Prealpi lombarde, in Val Camonica e Val Trompia la formazione è pure rappresentata, e cosí anche a Recoaro e nel Trentino.

Il MENEGHINI ed il SAVI [1] scopersero il carbonifero a Iano in Toscana, con ricche impronte di piante (*Annularia*, *Pecopteris*, *Calamites* ecc.); ed il Meneghini ricordava sempre, nelle sue lezioni, il fortunato colpo di martello che gli aveva palesato l'importante scoperta. Fu segnalato il carbonifero anche al Monte Pisano, ove si hanno impronte di passi che paiono di anfibi.

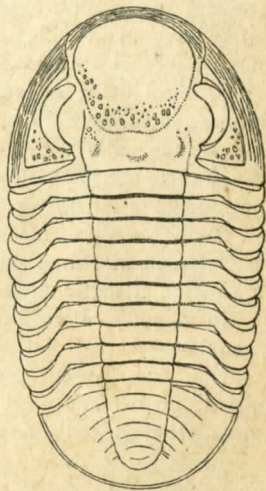



Fig. 112. — *Proetus postcarbonarius.* Gemmellaro. Paleozoico. Valle del Sosio in Sicilia.

[1] PAOLO SAVI, celebre naturalista italiano, già professore nella Università di Pisa.

Sviluppato è pure in Sardegna, e si rinviene anche in Sicilia, nella valle di Sosio, ed all'isola d'Elba.

Oltre ai vegetali accennati, tra i fossili trovati nel carbonifero italiano vanno ricordati le foraminifere del genere *Fusulina*, varii brachiopodi (*Productus*, *Spirifer*) alcune trilobiti (fig. 112), e crostacei macruri, che sono i primi a comparire, diversi cefalopodi ammonoidei e nautiloidei.

Il carbonifero fuori d'Italia. — Il sistema carbonifero è sviluppatissimo in Inghilterra, ove si hanno importantissimi giacimenti di carbon fossile. Nel paese di Galles, a nord e a sud, si basa su roccie devoniane; il calcare di montagna, si presenta sui lati in angusta striscia, ed a questo succede il litantrace contorto e piegato con schisti argillosi e arenarie. In Scozia si palesano importanti passaggi tra grafite, antracite e litantrace, e vi si manifestano ben chiari i fenomeni vulcanici. Nell'Irlanda il calcare carbonifero si presenta a lenti staccate, che ci attestano una potente denudazione.

Al nord delle Ardenne, coperta dal cretaceo, si ripresenta la formazione carbonifera nel Belgio, con grande estensione di calcare e litantrace nelle valli. Ivi sono notevoli le *faglie* o *rigetti*. Il bacino franco-belga ha grande importanza. Nel Boulognese si ha una continuazione dei depositi inglesi.

Nella Russia si alternano formazioni marine con formazioni terrestri, e non si hanno mai estesi depositi di carbone. Verso gli Urali è profondo il metamorfismo.

In Boemia, discordanti col siluriano, si hanno alcuni lembi di carbonifero.

Nell'America del Nord, dagli Allegani al Mississippi, al Michigan, si trovano pure ingenti depositi carboniferi; altri se ne hanno nel S-E dell'Australia, e nell'Affrica (Zambese).

Le terre dovevano essere molto piú estese nel nostro emisfero che nell'australe; e la presenza di calcari attribuiti a questo periodo, trovati nelle terre polari (Spitzberg, Nuova Zembla, nord dell'America e dell'Asia), insieme ad una flora carbonifera, serve ancora una volta a dimostrare la grande uniformità di clima.

Un altro fatto è pure notevole; cioè che nell'Australia, nell'India e nell'Affrica meridionale comparve una flora diversa da quella europea, anzi somigliante a quella che si sviluppa in Europa nel trias, uno dei periodi successivi. Questa flora era caratterizzata dalle felci del genere *Glossopteris*; e questo starebbe a dimostrare rapporti di continuità tra quelle terre oggi cosí separate fra loro, cioè tra l'Australia, l'India e l'Affrica meridionale. In vero alcuni attribuiscono al permiano questa flora; ma in realtà si può considerare come flora di transizione tra il carbonifero ed il permiano.

Sistema permiano. — Il permiano è così chiamato dal governo di Perm in Russia, ove è assai bene sviluppato; è detto anche *dias*.

Si suole dividerlo in due serie: l'una *inferiore* o *Rothliegende* (strati rossi), l'altra *superiore* o *Zechstein*.

Nella serie inferiore abbondano i grés e le argille calcarifere, nella superiore il calcare più o meno ricco di magnesia.

Gli strati permiani inferiori sono, in Europa, in generale di acqua dolce o littorale, i superiori marini. La presenza di porfidi, di diabasi e di altre roccie attesta l'attività vulcanica in questo periodo.

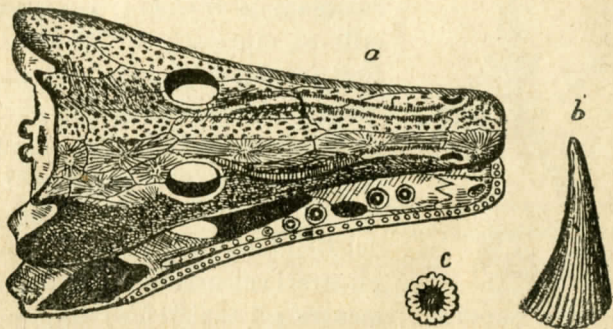



Fig. 113. — *Archegosaurus*, anfibio del Permiano (dal Neumayr). *a*, teschio - *b*, dente - *c*, dente in sezione.

Il clima si modificò a poco a poco; ed in alcune località divenne tanto freddo, da permettere la formazione del ghiaccio; contemporaneamente, in varie parti dell' Europa centrale, si ebbe un sollevamento, per cui furono separati dal mare dei bracci, dai quali si formarono depositi di salgemma e di gesso.

Tra i fossili sono da ricordarsi: l'*Archegosaurus* (fig. 113), anfibio già comparso nel carbonifero, ed altri anfibi labirintodonti (fig. 114).

I rettili incominciano a svilupparsi con diverse specie, in particolar modo rettili teromorfi, animali con vertebre biconcave. Né mancano rettili sauriani.

Tra i pesci è importante il *Paleoniscus* (fig. 115).

Scompaiono completamente le trilobiti. Comincia il notevole sviluppo delle ammonitidi, e compaiono nuovi lamellibranchi. Degno di nota, tra i gasteropodi, è il genere *Bellerophon*.

Fig. 114. — *Branchiosaurus amblystomus*, Credner. Permiano presso Dresda.

Tra gli insetti le blattide hanno la maggiore importanza.

Tra i brachiopodi il *Productus* (fig. 116) è caratteristico.

I vegetali, quasi tutti terrestri, non differiscono da quelli carboniferi, eccetto poche specie. Vanno ricordate le *Walchia*, le *Voltzia* simili ai cipressi, le *Ullmannia*; le *Voltzia* abbondano poi nel periodo successivo (Trias).

Il permiano in Italia. — In Italia la formazione permiana è assai scarsa. Nelle Alpi Carniche ed in quelle del Bellunese il Taramelli notò degli strati calcarei marini attribuibili al permiano superiore; mentre gli schisti con impronte di vegetali della Val Trompia sono del permiano piú antico.

Fig. 115. — *Palaeoniscus*, pesce del Permiano (da Römer).

A Regoledo, presso il lago di Como, ed a Recoaro nel Veneto si hanno strati riferibili al permiano recente. Anche nella valle di Montenotte, nell'Appennino ligure, si ha un piccolo lembo permiano, con molte radiolarie. Permiane sono anche le filladi e gli argilloschisti che nel Monte

Pisano sono posti tra il calcare del trias superiore e le quarziti. Anzi al permiano deve riferirsi la parte superiore del *verrucano,* nome con cui si confondevano piú strati fossiliferi, appartenenti a varie età. La flora del verrucano (dal monte della Verruca presso Pisa) accenna ad un periodo di passaggio tra il carbonifero ed il permiano.

All'isola dell'Elba, in Sardegna ed in Sicilia, nella valle del Sosio, si rinvengono schisti permiani.

La presenza di roccie porfiriche ci prova che in quel periodo arsero in Italia vari vulcani.

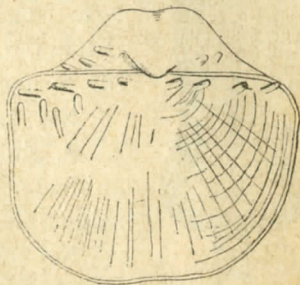



Fig. 116. — *Productus horridus,* Sowerby. Permiano.

Il permiano fuori d'Italia. — Fuori d'Italia si ha il permiano in Francia, in Inghilterra, in Germania, ove può chiaramente distinguersi nelle due parti sopra accennate. Gli schisti bituminosi cupriferi di Mansfeld presentano pesci e piante convertiti in solfuro di rame.

Già dicemmo essere il permiano notevolmente esteso in Russia.

Di speciale interesse sono le formazioni permiane dell'India.

Nell'America del Nord il permiano si trova all'occidente, principalmente sul fianco orientale dei Monti Rocciosi. Scarso è nell'America del Sud, nell'Affrica meridionale e nell'Australia.

ERA MESOZOICA

Il gruppo mesozoico comprende tutte quante le roccie sedimentarie formatesi dal chiudersi dell'era paleozoica fino al momento in cui si ridesta la interna attività, poiché con le eruzioni del permiano sembrano diminuire tutte le manifestazioni vulcaniche; e, fatta eccezione pel principio dell'era, in cui l'eruzioni vulcaniche furono assai intense, durante tutto il rimanente dell'era mesozoica le forze endogene sembrano quasi in letargo; ma le fessure del suolo si riempiono di abbondanti minerali, e, sul principio, si formarono diabasi, porfiriti e peridotiti.

Si può dividere questa êra in tre periodi: *Trias*, *Giura* e *Creta*.

Sistema triassico. — Questo sistema fu così detto perchè in varie località permette una suddivisione in tre piani, di cui l'inferiore è detto *Buntsandstein* od *arenaria variegata* (di formazione terrestre e littorale), il secondo *Muschelkalk* o *calcare conchiglifero* (di formazione marina), il terzo, o superiore, *Keuper* o *marne iridate* (di formazione di estuario).

Fig. 117. *Encrinus liliiformis*, Lamarck. Trias.

Nel trias inferiore abbondano arenarie rosse, giallastre, verdi, conglomerati, gesso, anidride, calcari cavernosi, e talora anche salgemma.

Nel trias medio è sviluppatissimo il carbonato di calcio, ricco di molluschi fossili.

Nel trias superiore si hanno marne iridate, arenarie e schisti bituminosi ricchissimi di idrocarburi.

Abbastanza ricca è la fauna: i polipai sono rari, mentre abbondano i crinoidi, e tra questi in particolar modo l'*Encrinus liliiformis* (fig. 117). Questo in alcune località si trova in tali quantità, da formare l'intera roccia coi soli pezzi del suo peduncolo. È abbondantissimo nel trias medio.

Fig. 118. — *Halobia Lommelli*. Trias.

I lamellibranchi sono abbondanti, in special guisa dei generi *Pecten, Cardita*, *Lima*, *Halobia* (fig. 118) *Megalodon*, *Myophoria*. Tra i brachiopodi, in un coi generi *Spirifer* e *Productus* paleozoici, trovansi lingule e terebratule (*Terebratula vulgaris*). Tra i cefalopodi le ammoniti si sviluppano in modo notevole (fig. 119); i nautili sono in decrescenza; compaiono, tra gli altri generi di dibranchiati, i *Belemnites* e *Belemnoteuthis*.

Tra i pesci esistono ancora in maggioranza i ganoidi eterocerchi; ma la colonna vertebrale è più ossificata, e la coda tende sempre più a rendersi omocerca. Si trovano anche dei rappresentanti del vivente gruppo dei dipnoi, come il *Ceratodus*.

I rettili sono sauriani nuotatori, come il *Placodus* (una volta ritenuto un pesce) con grandi denti lisci sul palato, il *Nothosaurus*; e va ricordato il colossale *Belodon* o *Phytosaurus*, rinvenuto nel keuper o trias superiore, col corpo corazzato e lontanamente simile ai viventi coccodrilli; sviluppati son pure i *Dinosauri*, rettili di cui alcuni presentano grandi somiglianze, nelle dita dei piedi, con gli uccelli. I teromorfi, così singolari perchè presentano una strana unione di caratteri proprii a varie classi, si estinguono completamente, e lasciano il campo ai sauriani nuotatori sopra accennati, ai coccodrilliani, agli ittiosauri dal collo corto e dal tozzo corpo, dal cranio con orbite enormi, dalle mascelle armate di radi e conici denti, dalle estremità trasformate in natatoie. Essi però hanno il loro maggiore sviluppo nel giura e nella creta. I teromorfi od anomodonti presentarono gruppi diversi, viventi principalmente nel sud dell'Affrica; alcuni ricordano le testuggini, altri presentano singolari rapporti coi monotremi; alcuni erano privi di denti, altri ne avevano e numerosi. Il *Dicynodon* aveva nella mascella due grandi denti rivolti in basso, come nel tricheco; mancavano tutti gli altri denti della mascella e della mandibola, che somigliava al becco della tartaruga. Compariscono anche i primi cheloniani. Si hanno molti labirintodonti, come il *Chirotherium* ed il *Mastodonsaurus*, di cui abbondano le traccie di passi nei sedimenti littorali triassici.

Fig. 119. — *Trachyceras ladinum*, Mojsisovics. Trias presso Esino in Lombardia.

Nella parte superiore del keuper, ossia nel *bonebed* (che vorrebbe dire *strati ossiferi*), formato da un agglomerato

di granelli di quarzo e di numerosissimi frammenti di animali, furono trovati i denti di un primo mammifero, cui fu dato il nome di *Microlestes antiquus*, in cui si volle da prima riconoscere i resti di un marsupiale; la dentatura è quella di un insettivoro, e sembra che si debba considerare come una forma di transizione. Cosí si dice anche del *Triglyphus*, altro animale che somiglia molto al *Tritylodon* (Affrica), un rettile teromorfo, considerato per lungo tempo come mammifero, e col quale hanno grandi affinità i due esseri sopra indicati; i quali si possono bensí considerare come mammiferi, ma tali che segnano proprio il passaggio dai rettili teromorfi ai mammiferi.

Fig. 120. — *Voltzia heterophylla* del trias (dal Fraas).
a, ramo - *b*, fusto - *c*, pina.

Piuttosto come un vero mammifero si può considerare il *Dromatherium*, che aveva i denti chiaramente distinti in incisivi, canini, e molari, benché la distinzione tra radice e corona non sia ben chiara.

La flora triassica è ancora ricca di felci, di cicadacee, di conifere. A queste ultime appartiene il genere *Voltzia* (fig. 120). Vi si trovano anche dei veri *Equisetum*.

Il trias in Italia. — Questo sistema è ampiamente rappresentato nella nostra penisola, e vi è eminentemente ricco di fossili. Poche e scarse vi sono invece le prove delle eruzioni vulcaniche, quali i porfidi augitici, gli ortofiri, i melafiri, i serpentini delle nostre Alpi. Una zona di roccie sedimentarie triassiche si stende al fianco delle formazioni paleozoiche nelle Alpi del Friuli e del Trentino e nelle prealpi Lombarde; ed altra zona, che corre al nord delle Alpi, si ripiega in Italia alle Alpi marittime, spiegandosi poi sino a Genova.

Nelle Alpi Lombarde il trias ha una potenza di circa 3000 metri; e si succedono ivi: arenaria rossa, calcare conchiglifero, schisti neri ricchi di pesci fossili, arenarie e calcari marnosi con bivalvi del gruppo di Gorno e Dossena, calcari e dolomie ricche di ammoniti del così detto *gruppo di Ésino* (a Varenna, tra la Valsassina ed il lago di Como), e la dolomia a *Magalodon Gümbeli.*

Nel Vicentino, presso Recoaro, il trias presenta formazioni svariate ed importantissime. Ricordo anche gli strati di S. Cassiano (valle del Credner nelle Alpi tirolesi) ricchissimi di gasteropodi e quelli di Val Seriana, non che la formazione dolomitica delle Alpi Carniche e delle prealpi del Bergamasco e gli strati a *Daonella.*

È triassica la zona marmifera delle Alpi Apuane, ove si hanno le celebri cave di marmo di Carrara; ed i calcari, che i toscani dicono *grezzoni*, sono pure triassici. Nel Monte Pisano e nella provincia di Siena sono pure sviluppate le roccie di questo sistema; e così in Calabria ed in Basilicata, in Sicilia, presso Girgenti e Palermo, ed in Sardegna; nè mancano al Gran Sasso d'Italia ed alla base del Gargano.

Tra i fossili italiani ricordo la *Retzia*, brachiopode molto comune, le *Avicule* (di questi lamellibranchi la *Avicula contorta* è tanto abbondante che si da addirittura il suo nome agli strati ove si trova: strati ad *A. contorta*, che da alcuni autori sono riportati al triassico, da altri al succes-

sivo giurassico, formandone il piano inferiore di un termine di transizione detto *infralias*), i molti cefalopodi (*Ceratites*, ecc.), vari pesci, vari rettili, come ittiosauri e sauropterigi (*Lariosaurus*).

Il trias fuori d'Italia. — Fuori d'Italia si estende in quasi tutta l'Europa centrale ed occidentale, con la caratteristica distinzione in tre piani. Nell'Inghilterra le formazioni triassiche si connettono col permiano, mentre nella Germania è col successivo sistema giurassico che hanno stretta relazione. Nella Svevia, Franconia e Lorena, il trias è costituito da una formazione marina, chiusa tra due formazioni di acqua dolce; ma è quasi una eccezione, poiché in altri luoghi è certo che il trias superiore e l'inferiore sono schiettamente marini. Sviluppatissimo è il trias allo Spitzberg; e lo è anche nella Siberia, nell'Imalaia (trias inf.), nel Giappone (trias medio), nell'Asia minore (trias sup.). Si trova nell'Affrica meridionale con formazioni lacustri, e con molti resti di rettili. Arenarie rosse triassiche si hanno negli Allegani, e compare il trias anche nei Monti Rocciosi e nella California.

Sistema giurassico. — Questo sistema è così denominato perché è sviluppatissimo nelle catene del Giura. Esso è ricchissimo di fossili, e può dividersi in due piani: *lias* l'inferiore, *oolite* il superiore. Alcuni autori pongono avanti al lias un altro piano l'*infralias*, di cui la parte inferiore è formata da quegli strati ad *Avicula contorta* sopra ricordati.

Ciò dipende dal fatto che il termine di passaggio fra trias e lias ha caratteri misti. Esso è indicato con vari nomi, anche con quello di *zona ad Avicula contorta*, essendone caratteristico questo lamellibranco; anzi, come abbiamo detto, si può ascrivere addirittura l'infralias al trias, giacché una divisione ben determinata non è possibile farla.

Nel *lias* il mare rioccupa le regioni che aveva abbandonato dopo il carbonifero; occupa in Europa una grande estensione, e cessa la deposizione del salgemma che aveva avuto luogo abbondantemente in precedenza.

L'attività interna tace quasi completamente; i melafiri del Delfinato, il granito iniettato in alcune località dei Pirenei, i basalti dell'isola di Scio, e pochi altri esempi ci provano l'esistenza di azioni eruttive.

Si depositano arene e marne, quest' ultime cariche di carbonato di calcio.

Quanto alla fauna, le foraminifere non sono abbondanti, ma abbondano i crinoidi, alcuni dei quali di forme colossali, con peduncolo lungo 17 metri e corona del diametro di piú di un metro. I brachiopodi dei generi *Terebratula* e *Rhynconella* sono sviluppatissimi. Abbondano i lamellibranchi, e fra questi ricordiamo la *Gryphaea*, la *Posidonia Bronnii;* meno abbondanti sono i gasteropodi.

Fig. 121. — *Harpoceras bifrons*, Bruguière. Lias superiore; veduto di fronte e di fianco: grandezza naturale.

Dominano invece i cefalopodi ed in particolar modo le ammoniti (fig. 121) e le belemniti. Molti insetti si rinvengono in alcuni strati liassici inglesi. I pesci sono numerosi; molti sono squali, altri ganoidi a coda omocerca. Scompaiono completamente gli anfibi labirintodonti. Tra i rettili predominano i nuotatori, come l' *Ichthyosaurus* (fig. 122). Questo animale somiglia ad un delfino col suo lungo e sottile muso, possiede una grande pinna dorsale triangolare, unita da una serie di lobi alla pinna caudale biloba. Le estremità servono pel nuoto. Si è anche trovato che gli ittiosauri erano animali vivipari. Altro interessante rettile è il *Plesiosaurus* (fig. 123), con vertebre biconcave analoghe a quelle dei pesci; esso aveva cranio piccolo, lunghissimo collo, e potenti arti natatori. I numerosi cocco-

Fig. 122. — *Ichthyosaurus communis*, Conybeare. Lias inferiore di Lyme Regis in Inghilterra.

drilliani somigliavano ai viventi gaviali, ma avevano le vertebre biconcave ed una sviluppatissima corazza ventrale. I mammiferi, già comparsi nel trias, seguitano lo sviluppo in questo piano.

La flora liassica presenta molte conifere e moltissime cicadacee di località umide; ma compariscono nel lias le monocotiledoni. Perdurano ancora, benché più scarse, le felci, di specie abitanti regioni paludose. Gli schisti presentano traccie abbondanti di alghe fucoidi.

Fig. 123. — *Plesiosaurus dolichodeirus*, Conybeare. Lias di Lyme Regis in Inghilterra.

Il piano *oolitico* è caratterizzato da calcari, cui eccezionalmente si accompagnano arenarie e conglomerati. L'abbondanza di calcare oolitico accenna senza dubbio ad abbondanza di formazioni coralline.

In Lombardia e nel Tirolo l'oolite è rappresentato da un calcare ad *Aptychus*.

Gli aptici, hanno l'aspetto di particolari conchiglie triangolari, assomiglianti a quelle dei lamellibranchi, colla differenza che mancano, sulla linea di unione, di denti e di fossette. Sulla loro natura non sempre furono d'accordo gli autori: chi li considerò come spettanti a cirripedi, chi credette rinvenirvi mascelle di pesci, chi veri lamellibranchi; nondimeno finalmente gli scienziati si convinsero che si trattava di opercoli di ammoniti; e si spiega facilmente perché l'aptico non trovisi sempre associato alle ammoniti, considerando che, una volta morto l'animale, l'aptico è caduto al fondo, mentre la conchiglia concamerata può aver seguitato a nuotare alla superficie delle onde.

La fauna oolitica è ricchissima. Le foraminifere, è vero, sono scarse, ma i briozoari sono abbondantissimi come anche i polipai. Gli echinodermi mostrano ricchezza di forma e di numero, come i *Cidaris* coi loro aculei clavati. Abbon-

dano i crinoidi. Numerose le terebratule e la rinconelle. Apparisce la famiglia delle *Chamidae*, lamellibranchi con valve disuguali, generalmente a cerniera molto forte, con un dente sopra una valva, e due sull' altra (*Diceras*); le Ostriche formano intieri banchi e con esse le *Gryphaea*, le *Trigonia* ecc. Numerosissimi sono anche i gasteropodi; abbondano tra i cefalopodi le ammoniti ed i loro aptici, e le belemniti, animali nudi con conchiglia interamente interna o solo per metà. Delle conchiglie trovansi per solito soltanto i rostri che per la forma furono anche detti e creduti « pietre di fulmine ».

Fig. 124. — *Iguanodon Bernissartensis*, Boulenger. Giura di Bernissart nel Belgio.

Compaiono nell' oolite i pesci ossei. Tra i rettili si sviluppano i cheloniani, mentre gli ittiosauri ed i plesiosauri seguitano a dominare ed i coccodrilliani giungono sino alla lunghezza di 15 metri. Fra i dinosauri ricordiamo il colossale iguanodonte (fig. 124); questo animale alto più di 7 metri ha capo piccolo, collo lungo, robustissimo tronco con arti anteriori molto ridotti, e potente coda che doveva certo servire di sostegno al corpo. Nell' aria volano rettili come lo *Pterodactylus* (fig. 125), il *Ramphorhyncus* ecc. Questi animali con forti mascelle, ora armate di denti ora no, avevano una membrana alare tesa tra il corpo ed un dito, il che li fa assai differire dagli uccelli, che si voleva discendessero da loro. L'oolite è il vero regno dei rettili; se ne hanno nell'acqua, nell'aria, sulla terra.

Di singolarissima importanza è la comparsa degli uccelli. Il piú antico uccello è l'*Archaeopteryx* (fig. 126) del calcare litografico di Solenhofen. Questo uccello conserva ancora i caratteri dei rettili ed è proprio il vero termine di passaggio tra questi e gli uccelli. Esso ha ali, coda, con 20 vertebre e con penne lunghe circa 26 centimetri, mascelle armate di denti.

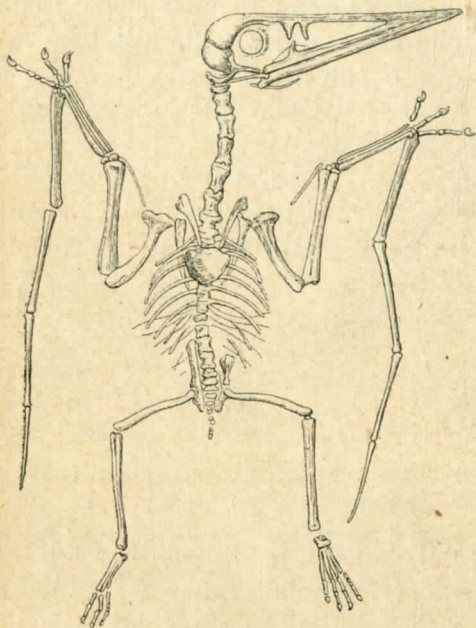



Fig. 125. — *Pterodactylus spectabilis*, Von Mayer. Giura. Nella pietra litografica di Solenhofen.

Tra i mammiferi vanno ricordati: l'*Amphitherium* che sembra un marsupiale ed il *Phascolotherium*, i cui denti ricordano quelli degli insettivori.

La flora oolitica non è soverchiamente ricca. Le cicadacee sono al loro apogeo, e ricordo i generi *Zamites*, *Pterophyllum*. Tra le conifere appariscono alberi di grossa dimensione analoghi alle *Sequoia* ed ai cipressi. La specie piú caratteristica è il *Brachyphyllum*.

Il sistema giurassico in Italia. — In Italia questo sistema è sviluppatissimo, specialmente sul versante esterno delle Alpi occidentali e delle prealpi centrali ed orientali.

Nelle prealpi Lombarde e nelle Alpi Apuane è sviluppato il lias inferiore. In Lombardia, nelle vicinanze di Camnago, si ha un caratteristico esempio di lias e di oolite. Ivi il lias è rappresentato da calcare rosso ad aptici, da calcare con ammoniti, l'oolite da un calcare rosso ed uno bianco

a frattura concoide. Nelle Alpi Venete il lias è indicato da calcare grigio a terebratule, e vi è pure l'oolite.

Nell'Appennino si ha una associazione di ciò che si riscontra in Lombardia e nel Veneto. Anche nella Catena metallifera della Toscana è sviluppato il giura.

Nel Veneto, nelle valli dell'Astico e del Brenta, si hanno calcari e schisti cristallini inferiormente, cui seguono calcari e poi strati rossi e calcari ammonitiferi ricchi di fossili. Ricchissima di fossili è poi l'oolite sviluppata al lago di Garda. Nei calcari delle provincie di Verona e di Vi-

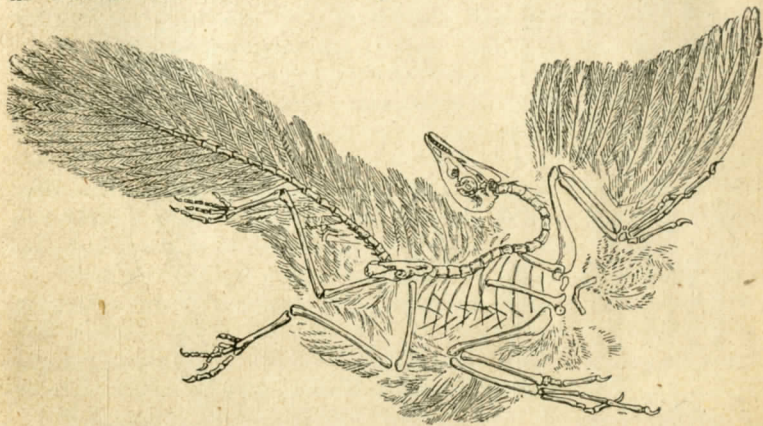



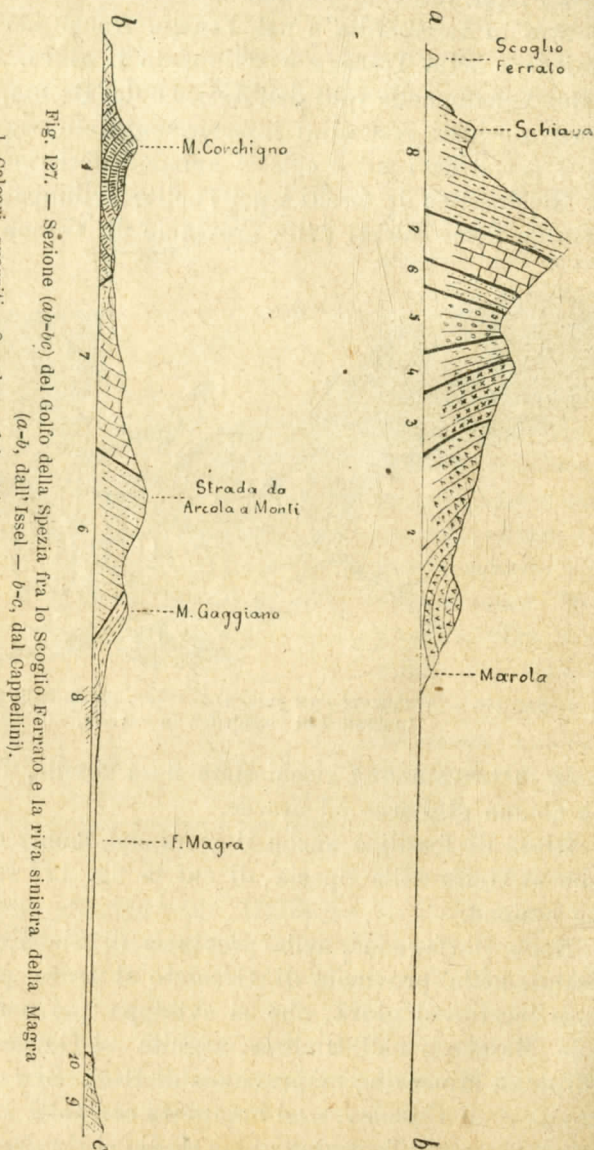
Fig. 126. — *Archaeopteryx macrura*, Owen. Giura. Nella pietra litografica di Solenhofen in Baviera.

cenza fu trovata una ricchissima flora fossile, fra cui anche alcune gigliacee ed aracee.

Ricco di fossili è anche il giura nei monti che si trovano al Golfo della Spezia, di cui la fig. 127 rappresenta una sezione.

Nella Garfagnana, nella provincia di Siena, nel Monte Pisano, nella provincia di Grosseto si trova pure in diverse località il giura, che si sviluppa poi notevolmente nelle Marche e nell'Umbria, seguita al Gargano e nelle Murgie di Minervino in provincia di Bari. Si trova poi in provincia di Cosenza, e si manifesta con tutti i suoi piani in Sicilia presso Taormina. Lias medio si rinviene al monte

S. Giuliano presso Trapani; né manca questa formazione in Sardegna. Alla fine del lias comincia a sollevarsi la catena

Fig. 127. — Sezione (*ab-bc*) del Golfo della Spezia fra lo Scoglio Ferrato e la riva sinistra della Magra (*a-b*, dall'Issel — *b-c*, dal Cappellini).

1. Calcari, quarziti - 2. calcare dolomitico, calcari ad *Avicula contorta*, schisti a *Bactryllium* - 3. calcare con schisti ammonitiferi (lias. inf.) - 4. calcare con arietiti (lias medio) - schisti con *Posidonomya Bronnii* (lias sup.) - 6. schisti con *Aptychus* - 7. schisti crètacei - 8. schisti, calcari, macigno (eocene) - 9. argille e conglomerato (miocene) - 10. conglomerato (pliocene).

dell'Appennino; seguita tale movimento nella prima metà dell'oolite; succede poi una nuova immersione nella seconda metà, ed allora comincia il sollevamento delle Alpi Apuane.

Il giurassico fuori d'Italia. — Si può dire che in tutte le parti del mondo si trovano formazioni giurassiche, diverse però nelle roccie che le costituiscono.

Il giurassico è sviluppatissimo in Francia, in Inghilterra, in Germania, ove sono specialmente importanti i calcari litografici di Solenhofen, così ricchi di fossili, fra cui il singolare *Archaeopteryx*, diversi crostacei, numerose libellule, coleotteri, ortotteri, ed anche impronte di meduse. Già ricordammo l'importanza della formazione giurassica nella catena del Giura; e lo stesso può dirsi rispetto alla Russia. Si trova poi il giurassico nel Giappone, nell'India, nell'Asia Minore.

Povero di fossili, ma potente per estensione di strati, si ha nell'America del Nord, specialmente sopra i fianchi occidentali delle Montagne Rocciose, ove furono trovati moltissimi piccoli mammiferi marsupiali (*Dicodon*, *Monacodon* ecc.). Non è dubbia la sua esistenza nelle Ande, ed anche nella Nuova Zelanda. Allo Spitzberg ed alla Groenlandia si estendevano mari popolati da specie, viventi anche nei climi meno caldi del mezzogiorno della Europa.

Gli studi fatti sul giurassico hanno dimostrato una distribuzione geografica già accentuata abbastanza negli esseri che vissero in quel periodo, talchè tre zone si sono potute stabilire: una polare, una temperata, una equatoriale. Evidentemente il clima ha avuto notevole influenza sulla distribuzione degli esseri.

Si è potuto anche stabilire che un vasto oceano si estendeva dall'America centrale sino all'India asiatica, che al nord di esso si estendeva un continente che andava dall'America settentrionale alla Groenlandia ed alla Scozia. Un'isola era la Scandinavia, ed un arcipelago d'isole si estendeva sulla Russia e sull'Europa centrale.

Al sud di quel vasto oceano si estendeva un continente, che comprendeva l'America del Sud e l'Affrica, con un prolungamento che formava una penisola. Un altro continente comprendeva la Cina e l'Australia. Il bacino di Mosca e l'Asia settentrionale erano occupati dal mare.

Sistema cretaceo. — Questo sistema deve il suo nome all'essere in varie località costituito in modo predominante da quella varietà di calcare, che si distingue col nome di *creta*.

La creta ha colore bianco o leggermente giallastro, ed è molto tenera. È pochissimo stratificata, e se si divide

in piani, ciò si deve a strati di pietra focaia che vi sono interposti. È costituita principalmente da gusci di foraminifere e da numerose coccoliti; non è quindi altro che un antico fango calcareo formatosi nelle profondità dell'oceano nel modo istesso con cui si forma anche oggi.

La creta è ricca di noduli silicei, dovuti probabilmente ad una concentrazione della silice, operata dalle acque circolanti.

Il sistema cretaceo può essere suddiviso in tre piani, ossia: l'*inferiore*, il *medio* ed il *superiore*. Il cretaceo inferiore presenta argille e sabbie ed un'arenaria verde ricca di carbonato di calcio; il medio offre calcari rossi marnosi; il superiore un calcare compatto ed un calcare terroso.

Come si vede adunque, il nome di cretaceo non deve condurci nell'idea falsa che i terreni di questo sistema sieno tutti formati di creta.

Alcuni autori considerano soltanto due divisioni principali del cretaceo, e queste le suddividono nel modo seguente:

Cretaceo inferiore	Neocomiano Aptiano Gault o Alpiano
Cretaceo superiore	Cenomaniano Turoniano Senoniano

Nella fauna cretacea si nota abbondanza di foraminifere, come *Globigerina*, *Orbitolina*. Vi abbondano anche le spugne silicee, alcune delle quali (*Coeloptychium*) singolarissime per la forma di fungo.

I polipai sono più rari che nell'oolite; abbondano invece gli echinidi (*Micraster*, *Cidaris*, *Hemiaster*, *Spatangus*, ecc.).

Tra i brachiopodi seguitano ad essere frequenti le *Rhynconella* e le *Terebratula*.

Dei lamellibranchi sono importantissimi gli *Inocerami*, la cui conchiglia è in generale formata da due valve irregolarmente ovali, con pieghe concentriche, e, più che questi, è particolare al periodo la famiglia delle *Rudiste*, molluschi bivalvi, con conchiglia di grosso spessore, con le due

valve diversissime tra loro (*Sphaerulites*, *Hippurites*, *Caprotina*) (fig. 128). Le rudiste nascono col cretaceo e col cretaceo si estinguono. Esse si accostano al genere *Diceras* che visse nel giurese, e oggi hanno per unico rappresentante il genere *Chama*. I gasteropodi hanno grandi somiglianze con quelli del giura; ma compaiono qui le famiglie dei murici, dei fusi, dei buccini. Particolare alla creta è il genere *Acteonella* che si associa sempre alle ippuriti. Numerose sono ancora le belemniti, mentre le ammoniti accennano a deperire, ed infatti col cretaceo cessano. Varie di queste ammoniti sono a spira aperta, ed un genere è anche a spira diritta, ossia completamente svolta. Caratteristiche del cretaceo sono le belemnitelle e le grosse forme affini al *Belemnites dilatatus*.

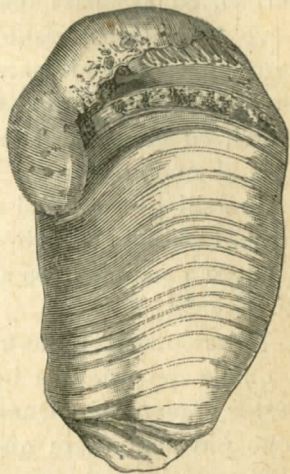



Fig. 128. — *Caprotina Orbignyi*, Di Stefano. Cretaceo di Termini Imerese presso Palermo.

Si trovano abbondanti diversi crostacei; scarsi gli insetti; mancano gli aracnidi.

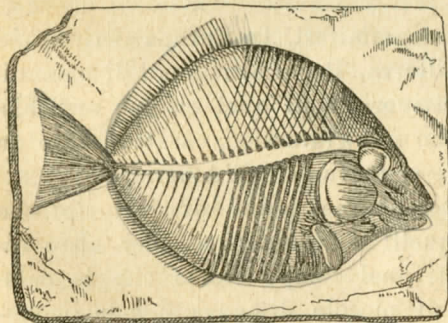



Fig. 129. — *Stemmatodus rhombus*, Costa. Cretaceo inferiore di Castellammare presso Napoli.

Tra i vertebrati, i pesci teleostei acquistano grande sviluppo, mentre i ganoidi corazzati scompaiono a poco a poco, e le poche specie di ganoidi sopravvissute si ritirano nelle acque salmastre e nelle dolci, quasi a cercarvi piú sicuro rifugio e maggior protezione nella lotta per l'esistenza. I teleostei cretacei hanno grandi somiglianze coi viventi. Ricordiamo il genere *Stemmatodus* (fig. 129).

Mancano quasi affatto gli anfibi.

I rettili invece seguitano nel loro mirabile sviluppo, e compaiono i serpenti ed i mesosauri, questi ultimi oggi estinti, ed esclusivi del cretaceo.

I *Mesosaurus* erano animali marini con corpo gigantesco, ma proporzionatamente lungo e sottile, terminante in lunghissima coda. Giungevano alla lunghezza di 30 metri, ed erano protetti da squame. Le brevi zampe erano atte al nuoto. Per gli altri rettili basta quanto dicemmo sui rettili giuresi. Col cretaceo però scompaiono gli ittiosauri, i plesiorauri, gli pterodattili; questi ultimi per altro giungono nel cretaceo a dimensioni colossali (apertura d'ali di 8 metri).

Vissero nel cretaceo uccelli strani, con vertebre simili a quelle dei rettili e becco con denti *(Ichthyornis, Hesperornis, Odontornis)*. Questi uccelli, rari nel cretaceo europeo, sono piú comuni in quello dell'America, e sono riferibili ai corridori ed ai carenati. Gli *Hesperornis* raggiungevano l'altezza di 1 metro, ed avevano piedi atti alla locomozione acquatica; avevano denti, e lo sterno era privo di carena. L'*Ichythornis* invece era un piccolo uccello grosso come un piccione, con sterno carenato, ed era munito anch'esso di denti.

Scarsi sono i resti di mammiferi. In Europa si rinvenne solo un dente nell'Inghilterra. Pochi altri resti di mammiferi marsupiali, di insettivori, e di quel gruppo antichissimo, di cui già dicemmo nel giurassico, caratterizzato da denti a molti tubercoli, si trovano nell'America.

La flora cretacea presenta nei piani inferiori tipi che poco si discostano da quelli del giurassico. Per altro incominciano già gli abeti, nel tempo stesso che le calamariee, le equisetacee di piccole dimensioni e le licopodiacee popolano i luoghi paludosi di quelle antiche terre.

Invece nel cretaceo medio e nel superiore, in particolar modo, si mostrano d'un tratto ed in gran quantità piante angiosperme dicotiledoni che hanno grandissima affinità con quelle che popolano oggi la terra. Caratteristiche del

cretaceo sono le *Credneria*, oggi estinte; ma fra le piante viventi ancora vanno ricordati, del cretaceo, i faggi, le quercie, le magnolie, i fichi, le lauracee, le palme, diverse araliacee. Persino l'albero del pane (*Artocarpus*) fu trovato a 70° lat. nord.

Gli studi fatti, particolarmente sulla flora fossile dell'America settentrionale, hanno dimostrato che quella regione deve essere stata la patria delle piante dicotiledoni. Di là migrarono alla Groenlandia ed all'Europa.

Durante il cretaceo va sempre più accentuandosi la separazione dei climi, con cui sono collegate modificazioni nella distribuzione degli animali e delle piante. Rarissime, per non dire nulle, sono le tracce di attività endogena; e queste sono limitate specialmente all'America ed alle Indie.

Il cretaceo in Italia. — In Italia il cretaceo si palesa in continuazione del giurassico; esso segue l'Appennino e si sviluppa notevolmente nelle Marche, nell'Umbria, nell'Abruzzo, nel Napoletano, nelle Puglie, nella Basilicata. Nel Nizzardo la serie cretacea è abbastanza importante, e si estende in piccoli lembi anche presso Villafranca. Nella Lombardia il piano inferiore (neocomiano) è rappresentato da un calcare compatto, denominato *maiolica*, e contiene per lo più lenti di selce. Ivi il cretaceo è ricco di radioliti, di ippuriti e della caratteristica *Acteonella*. Nel Veneto (Vicentino), rappresentante della maiolica è un altro calcare bianco denominato *biancone*. La *scaglia*, calcare compatto a frattura scagliosa, appartiene invece al cretaceo superiore. Le *argille bigie scagliose* dell'Emilia sono da considerarsi pure come cretacee; esse contengono inocerami, ippuriti, un coccodrilliano ed un rostro di *Ichthyosaurus campylodon*. La *pietra forte* dei toscani, ricca di ammoniti e di fucoidi, sviluppatissima in Toscana, è pure cretacea. Al Gargano il sistema cretaceo è notevolmente sviluppato; e così nel Leccese, ove il calcare a rudiste forma in gran parte il lido del golfo di Taranto ed il Capo di S. Maria di Leuca; si trova anche nella pro-

vincia di Salerno, in quella di Caserta e nel Matese. Scarso è in Sicilia, piú sviluppato in Sardegna.

Il cretaceo fuori d'Italia. — La regione classica per lo sviluppo di questo sistema è la Francia.

In Francia presenta tre bacini; uno intorno a Parigi, l'altro nella valle del Rodano, il terzo nella valle della Garonna. È evidente la continuazione nell'Inghilterra di alcuni strati cretacei della Francia occidentale.

Il piano *neocomiano*, che è il piú basso del sistema, si presenta nella vallata della Senna con uno spessore dai 50 ai 60 metri; il *cenomaniano* è ivi caratterizzato dalla *glauconia* (idrosilicato di ferro e potassio) disseminata nella creta bianca. Il *turoniano* è sviluppatissimo a Rouen, ed è costituito da una creta bianca, priva di noduli silicei nella parte inferiore, mentre ne contiene nella media e nella superiore. Il *senoniano* costituisce il fondo su cui nel bacino di Parigi si appoggia il terziario; è formato da creta bianca ricca di *Belemnites* e di *Micraster*. Un ultimo piano, considerato solo in Francia e detto *daniano*, è sviluppato a Meudon, nella parte settentrionale del bacino, ed è caratterizzato da calcare pisolitico e dal *Nautilus danicus*.

Si ha il cretaceo, appoggiato direttamente al paleozoico, nel Belgio; si sviluppa nella Boemia e nella Sassonia, occupa quasi tutto il S-E. dell'Inghilterra; si estende col calcare a rudiste nell'Alta e Bassa Austria, in Dalmazia, nella penisola Balcanica; si trova nell'Arabia ed in Persia, nel Tibet; e, ricchissimo di fossili, si riscontra nell'India e nell'Australia. Nell'India anzi ai sedimenti cretacei sono interposte colate basaltiche. Nell'Affrica settentrionale e lungo la costa occidentale si manifesta ancora il sistema; e si ritrova nella Groenlandia, nell'America del Nord, ove la parte superiore del sistema presenta dei piccoli mammiferi e spoglie di rettili.

Riassumendo, il mare si estendeva a nord della Germania e dell'Inghilterra; erano emersi l'Inghilterra meridionale e pochi isolotti dell'Europa centrale, il che permise la formazione dei depositi littorali (arena e ghiaia), mentre nel bacino del Mediterraneo, fino all'oriente dell'Asia, si formavano depositi calcarei coralligeni e di lamellibranchi presso i lidi, e si depositavano in alto mare calcari ed argille.

In Russia è invasa dal mare tutta la parte meridionale, mentre la regione dell'Ural arresta momentaneamente il suo movimento.

In America si sommergono la costa atlantica degli Stati Uniti, tutte le adiacenze del golfo del Messico ed il territorio delle Montagne Rocciose fino all'Alaska.

Nel continente australe il cretaceo non è rappresentato che da

sedimenti di origine continentale; raro v'è il cretaceo marino. Al nord dell'Affrica abbiamo sicure prove dell'invasione del mare.

Carattere distintivo della fine del cretaceo è una ritirata del mare, per cui le terre si preparano a riunirsi nelle masse continentali che sussistono oggi.

ERA CENOZOICA O TERZIARIA

Sarebbe in errore chi credesse che tra il cretaceo e il successivo terziario esistesse una grande lacuna, poichè se è vero che le condizioni biologiche e litologiche terziarie si presentano notevolmente diverse da quelle cretacee, è pur vero che in varie località della regione mediterranea si ha un graduato passaggio tra l'uno e l'altro sistema; trovandosi ippuriti che spettano al cretaceo, insieme a nummuliti che appartengono al terziario. Nella California specialmente il fatto è caratteristico.

Ciò premesso, dobbiam dire che l'êra terziaria o cenozoica è caratterizzata da una differenziazione notevole nelle condizioni fisiche e biologiche, differenziazione simile a quella attuale. L'Europa, costituita dapprima da isole basse e poco estese, incomincia a sollevarsi, e risultato di questo sollevamento è la formazione di catene montuose come i Pirenei, le Alpi, i Carpazi, gli Appennini, le montagne dell'Albania e della Grecia, il Caucaso, l'Imalaia, le Montagne Rocciose, le Catene Costiere, le Ande.

È vero che nell'êra terziaria il mare si è ritirato da vaste estensioni di terra, per cui in gran parte è emersa la Germania settentrionale, la Russia, l'America del Nord; ma è pure un fatto che un braccio di mare si estendeva lungo il nord delle Alpi, attraverso all'Ungheria, fino all'Asia occidentale. Un ampio mare occupava l'India e gran parte dell'Asia centrale. Invece l'Europa settentrionale era riunita in un continente, di cui ci restano le Fär-Oer e l'Islanda, con l'America settentrionale; ed al principio del terziario si sommerse il continente che univa l'America meridionale all'Affrica, la quale poi si separò dall'isola di Madagascar.

Il Mediterraneo perde la sua natura pelagica; si divide in parti, e si solleva tanto da ridursi quasi a scomparire; ma al movimento di sollevamento del fondo segue ben presto uno sprofondamento, per cui si originano varii bacini, quali il Tirreno, l'Adriatico, il mar Siculo, il mare Egeo; e nei margini delle fratture che si formano, si sviluppano i vulcani, con grande violenza, mentre attraverso alle fessure del suolo si fanno strada minerali metalliferi, e tra questi l'oro e l'argento.

I mammiferi si sviluppano con straordinario vigore, i vegetali raggiungono uno sviluppo ed una varietà di forme sorprendente.

E, forse, è in questa êra che fa la prima sua comparsa l'uomo; e dico forse, giacché la questione dell'uomo terziario è ancora discussa, e, dai piú, assolutamente rigettata. Ma di ciò a suo tempo.

Nelle roccie c'è grande analogia con quelle che si formano attualmente, poiché prevalgono quelle di origine detritica e chimica. Cosí si hanno marne, sabbie, conglomerati, calcari, ma questi non piú nella potenza che abbiamo osservata nelle altre ere.

Nella fauna le somiglianze con le specie attuali sono notevolissime. Tra i molluschi, il 23 per cento appartiene a specie tuttora viventi, ed il rapporto, piccolo nella prima epoca dell'era cenozoica, è poi notevole nell'ultima.

Altro importantissimo fatto è quello dell'accentuata distribuzione geografica degli esseri. Nelle êre precedenti abbiamo osservato una maggiore uniformità nelle condizioni climatiche, che permetteva agli animali ed alle piante di spargersi in diversi luoghi della superficie terrestre; nell'êra cenozoica invece certe specie tendono a riunirsi in certe determinate regioni, ossia si *accantonano*. Ciò porta a concludere in favore di una diversità nelle esterne condizioni.

Durante il terziario il clima subí un notevole raffreddamento, preludiando all'ingente sviluppo di ghiacci che si ebbe nell'êra successiva, avvertendo però che il raffred-

damento del clima, considerevole al certo, portò la temperatura a condizioni simili a quelle che si verificano oggi e non, come si potrebbe supporre, a condizioni piú rigide delle attuali.

L'êra cenozoica è divisa per solito in tre periodi, ossia *eocene*, *miocene*, *pliocene*. Alcuni autori aggiungono fra l'eocene ed il miocene anche l'*oligocene*; ma i limiti non ne sono ben definiti, ed al piú si può dire oligocene la parte inferiore del miocene.

Sistema eocenico. — È nell'eocene che incomincia il sollevamento dei continenti. In questo periodo sono tanto abbondanti le *nummuliti*, da giustificare il nome di periodo *nummulitico* con cui fu anche distinto.

Al principio si ha ancora un clima temperato, ed inverni quasi nulli, ma ben presto si stabilisce un alternarsi di stagioni secche e calde con stagioni piovose e temperate.

L'interna attività si risveglia con eruzioni di roccie serpentinose ed eufotidi, che accompagnano il sollevarsi dei Pirenei e degli Appennini, e con eruzioni di basalti nel Vicentino.

Il mare occupava ancora una gran parte dell'Europa.

Per ciò che si riferisce alla fauna dobbiamo notare una grande abbondanza di protozoi, specialmente *Nummulites* (vedi fig. 52), *Operculina* ecc. Le nummuliti appartengono alle foraminifere, e sono cosí dette perché le loro conchiglie hanno l'aspetto di monete, se grandi, di lenticchie, se piccole. Alcune giunsero sino a 6 cm. di diametro; risultano di numerosi giri spirali concamerati, e sono attraversate alla superficie da sottilissimi fori. In alcuni luoghi formano da sole intieri gruppi di strati; ma si trovano principalmente nella zona mediterranea e nell' India; compaiono quasi d'un tratto coll'eocene, e rapidamente scompariscono ai principi del miocene.

Rare sono le spugne.

Molti sono i polipai e gli echinodermi, di cui hanno grande importanza i *Clipeaster* e gli *Spatangus*.

Tra le conchiglie bivalvi ricordiamo i generi *Cardita*, *Cardium*, *Venericardia*, *Lucina*, ecc. Tra i gasteropodi il piú caratteristico del periodo è il genere *Ceritium;* essi del resto sono abbondantissimi (fig. 130). Scarsi i brachiopodi, rappresentati da poche specie. I cefalopodi sono rari, e sono estinte completamente le ammoniti e le belemniti.

Fig. 130. — *Velates Schmidelianus*. Eocene del Vicentino.

Nell' Appennino si hanno impronte lasciate dai vermi. Né mancano crostacei, insetti ed aracnidi, i quali, (nell'ambra specialmente) hanno conservato le parti piú delicate.

Abbondano gli Squali, dei generi *Oxyrhina*, *Otodus* ed altri pesci (fig. 131), principalmente teleostei. Tra gli anfibi seguitano il loro maggiore sviluppo gli urodeli, ma compariscono i primi rospi e le rane. Fra i rettili si notano delle tartarughe, dei coccodrilliani e dei sauriani rappresentati però da un gran numero di generi e di specie.

Fig. 131. — *Semiophorus velicans*. Eocene del Monte Bolca nel Veronese.

Vi sono dei grandi uccelli, come il *Gastornis*; e si può dire che nell' eocene sono rappresentati tutti gli ordini di uccelli viventi oggidí.

Ma importantissimi sono i mammiferi. I loro avanzi, in alcuni luoghi, sono veramente abbondanti, e permettono di ricercare la filogenesi dei mammiferi oggi viventi. Vi si trovano diversi aplacentati, come i *Didelphus*, ed anche dei monotremi;

ma in abbondanza notevole si svolgono i placentati. Troviamo infatti nell' eocene i primi pipistrelli, che si sono ben presto distaccati dagli insettivori, da cui derivano, e pare sin dal cretaceo.

Importantissimi sono poi i carnivori più antichi, i quali per altro non avevano ancora ben distinto il dente ferino, come lo è nei carnivori oggi viventi. Questi antichi carnivori, oggi completamente estinti, sono i creodonti, i quali erano tozzi, plantigradi, di varie dimensioni, e certamente molto feroci e voraci. Essi avevano affinità anche cogli aplacentati. Citiamo l'*Arctocyon*, che ricorda gli orsi, il *Palaeonictis* dell' eocene di Francia, il *Mesonyx* dell'America (fig. 132).

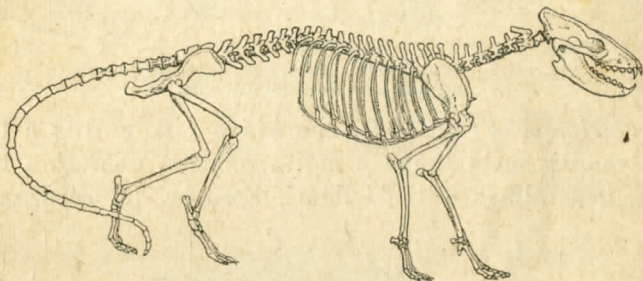



Fig. 132. — *Mesonyx obtusidens*, Scott. Eocene del Wyoming nell'America settentrionale.

Nell' eocene inferiore dell'America si trovano resti di animali simili ai moderni lemuri, il cui legame cogli insettivori è chiaramente dimostrato. Alcuni se ne trovano anche in Europa. Va ricordato il *Palaeolemur*. Ed è a notarsi che questi antichi lemuri vanno considerati come i precursori delle scimmie; è anche da considerarsi come una proscimia o lemure il *Caenopithecus* trovato nell' eocene del Giura d' Egerkingen (Svizzera). Nell' eocene inferiore americano si rinvennero pure diverse proscimie.

Oltre ai mammiferi qui sopra accennati, che appartengono tutti al gruppo degli unguicolati, fin dall'eocene inferiore incomincia importante lo sviluppo degli ungulati. La derivazione loro dai creodonti pare accertata. I più

antichi ungulati, furono detti *Condylarthra* e si rinvennero negli strati dell' eocene inferiore dell' America settentrionale e dell' Europa. Tra questi il più antico è il *Phena-*

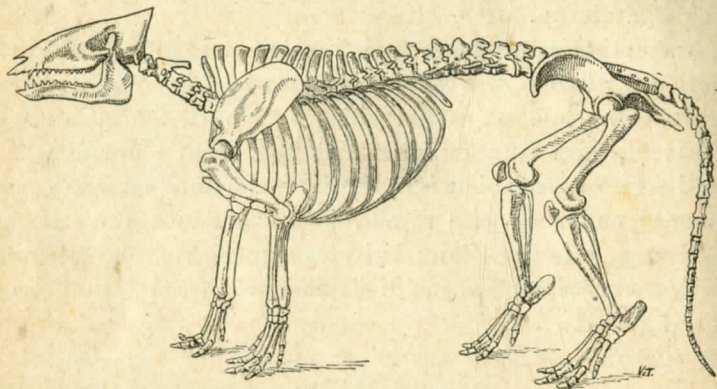



Fig. 133. — *Phenacodus primaevus*, Cope. Nell' eocene inf. dell'America settentrionale.

codus primaevus (fig. 133), che aveva cinque dita a tutte le estremità, coda lunga e molto robusta, dentatura completa, generalmente di 44 denti. Esso ha dei caratteri co

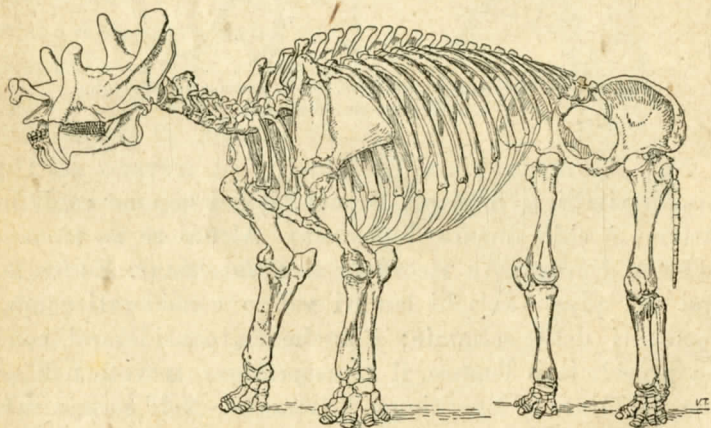



Fig. 134. — *Tinoceras ingens*, Marsch. Eocene del Wyoming nell'America settentrionale.

muni anche coi paridigitati (artiodattili) e con i carnivori. Somigliante agli elefanti era un altro condilartro, il *Coryphodon*, che, insieme al *Tinoceras* o *Loxolophodon* (fig. 134)

ed al *Dinoceras*, apparteneva ad un gruppo di ungulati chiamati *Amblipoda*, che sembrano costituire l'anello di congiunzione tra gli ungulati a cinque dita e quelli che non hanno cinque dita in tutti e quattro i piedi. Il *Tinoceras ingens*, era alto 2 metri, e lungo, con la coda, circa 5. Sul cranio presentava sei sporgenze cornee, destinate probabilmente a sostegno di corna. Aveva forti denti canini a guisa di zanne, e mancava di incisivi nella mascella superiore. Questi colossi dovevano essere pigri e poco intelligenti, a giudicarne dalla piccolezza della cavità cranica.

Compaiono i pachidermi veri, alcuni con dita impari, come i *Palaeotherium* simili al tapiro, altri con dita pari, come l'*Anoplotherium*, che fu considerato a torto come la forma ancestrale dei ruminanti, perché aveva piedi didattili. Nell'America settentrionale si mostrano alcuni generi precursori del moderno cavallo, come il *Phenacodus* sopra accennato. Si trovano nell' eocene americano anche i precursori dei suini, e quelli dei cammelli.

Appartengono a questo sistema anche i primi ruminanti veri.

Dall'eocene dell' isola di Giammaica provengono dei resti dei primi cetacei sirenoidi, rinvenuti anche in Italia.

Ai roditori si avvicina un gruppo di animali, oggi completamente estinti, diffuso nell'eocene dell'America del Nord, ossia i tillodonti, che, per alcuni caratteri, ricordano anche i carnivori, mentre per la struttura delle estremità somigliano ai maldentati, e per quella dei molari si avvicinano agli ungulati.

La flora eocenica ha intimi rapporti con la flora cretacea. Le Quercacee e le Lauracee vi dominano; ma trovansi principalmente piante di clima subtropicale (varie palme del genere *Phoenix*, l'Acacia, la *Dracaena* ecc.). Si trova una vite (*Vitis Sezanentis*). Nei mari trovansi alghe, come le *Chondrites*.

L'eocene può essere diviso in tre piani, ossia: l'*inferiore*, il *medio* ed il *superiore*. L'inferiore, nel bacino di Parigi, presenta sabbie quarzose e calcari, marne di acqua

dolce, con fossili; il medio presenta una roccia detta *calcare grossolano*, perchè ad elementi grossolani con molti fossili marini, ed offre anche arenarie e gèsso. Il gesso di Montmartre è celebre per l'abbondanza dei fossili che contiene. Nell' eocene superiore si ha un calcare lacustre e la selce molare.

L'eocene in Italia. — In Italia l'eocene non è rappresentato da quelle stesse roccie che abbiam visto trovarsi nel bacino di Parigi. Vi predominano i calcari nummulitici, e gli strati di una arenaria a grani silicei, con cemento calcareo argilloso siliceo e pagliette di mica, detto *macigno.*

Si hanno poi strati argillosi e marnosi, un calcare a fucoidi (ossia con impronte di alghe marine), breccie calcari, conglomerati ecc.

Nel Veneto l'eocene è formato da molti strati, distinti da diverse faune, con insetti; e meritano di essere ricordati il monte Bolca ed il monte Postale per la loro ricca messe di pesci fossili e di piante.

Nei dintorni di Nizza è pur bene sviluppato l' eocene e si estende al nord ed all' est di Genova, prolungandosi anche lungo la riviera orientale. Si può dire che l' eocene si stende lungo l'Appennino fino al golfo di Taranto. Nella Toscana è caratteristico col suo calcare nummulitico cui è sovrapposto il macigno. A Montecatini di Val di Cecina si appoggia sull' ofiolite, e vi si trovano ricchi giacimenti di rame. Anche i calcari e le argille del Monte Amiata sono eocenici. Si rinviene nel Gargano, alle isole Tremiti, in Sicilia lungo il fianco meridionale delle Madonie, ed in Sardegna (Orosei, bacino del Gonnesa).

Sulla fine dell' eocene si ebbe la maggiore emersione dell'Appennino, e seguitarono a sollevarsi le Alpi e le Alpi Apuane, mentre si verificavano eruzioni accennate da peridotidi alteratisi in serpentini ed in gabbro, da diabase, e da dicchi di granito nell eocene dell' Isola d' Elba. Arsero vulcani nel Vicentino e sul Garda, e si formarono i colli Berici e gli Euganei.

In Italia si hanno numerose le foraminifere, piuttosto scarsi i crinoidi, mentre abbondano i coralli, i gasteropodi ed i lamellibranchi. Nel Veneto non rari sono i resti di uccelli, di rettili, di mammiferi sirenoidi (*Halitherium*). Anche in Sardegna si rinvengono diversi mammiferi, tra cui il *Lophiodon*, e vi si trova pure una ricchissima flora, da cui derivò uno dei principali depositi italiani di lignite.

L' eocene fuori d' Italia. — Oltre che in Francia, ove, come ho detto, è sviluppatissimo nel bacino di Parigi, si trova nei Vosgi ed alla Foresta nera, ed anche in gran parte del Giura. È sviluppato nel bacino di Vienna, in quello di Londra, nel Belgio, nei Carpazi, nei Pirenei, nella Persia, nell'Arabia, nel Tibet, nell'Imalaia. Si trova nell' Algeria, nel Marocco, nell' Egitto, e qui principalmente il calcare nummulitico serví alla costruzione delle piramidi. Occupa una immensa zona nell'America del Nord, nel Giappone, in Cina. Importanti giacimenti con piante fossili si hanno allo Spitzberg, in Islanda ed in Groenlandia.

Importanza notevole l'offre principalmente l'America del Nord per la ricca messe di mammiferi trovati nelle sue assise eoceniche.

In Francia, alla fine dell'eocene arsero i vulcani del Puy-de-Dôme (Auvergne), e sembra che queste eruzioni sieno state prevalentemente sottomarine.

Durante l' eocene il mare fu in Europa meno esteso che al finire del cretaceo. Un mare si estendeva sul bacino di Parigi e di Londra, sul Belgio e sopra una parte della Germania; un altro comprendeva quasi tutta l'Europa del Nord; un altro la Russia meridionale, e questo era unito all'Oceano Artico per uno stretto e lungo mare.

I più antichi mammiferi eocenici trovansi, per l'Europa, in Francia (Reims), ed essi si mostrano molto somiglianti coi piú antichi dell' eocene dell'America del Nord, il che fa credere alla loro origine da un gruppo comune, cosa che porta nuova luce sulla teoria della discendenza delle specie.

Sistema miocenico. — Il periodo miocenico è caratterizzato da un notevole movimento della crosta terrestre. È in questo periodo che si inalzano completamente le cime delle Alpi, dell' Imalaia, delle Ande. Ardono ancora in Francia i vulcani dell'Alvernia; si hanno eruzioni nella vallata del Reno, in Ungheria, e seguitano a sgorgare lave sul versante occidentale delle montagne Rocciose. I vul-

cani del Vicentino continuano ad eruttare; si hanno eruzioni trachitiche in Sardegna, ed altre nella Scozia, nell'Irlanda, nell'isola di Giava.

Si forma un mare interno che separa l'Europa dall'Affrica, e questo mare è interrotto ad oriente, cessando ogni sua comunicazione coll'oceano Indiano. È questo un vero mediterraneo, di poco diverso dell'attuale.

Le roccie sedimentarie di questo sistema sono sabbie, argille e ghiaie, con calcari e roccie silicee e depositi di sale, come a Volterra (Saline) in Provincia di Pisa, in Calabria a Lungro ed in Sicilia. Nel miocene superiore del nostro Appennino e della Sicilia si hanno ricchi depositi di gesso, cui si associano, tanto in Sicilia come in Romagna, delle importantissime miniere di solfo.

Fig. 135. — *Scutella subrotunda*, miocene di Schio nel Vicentino.

Nella fauna, tra le foraminifere, domina il genere *Amphistegina*. Abbondano le radiolarie, specialmente nella Toscana, nella Sicilia, nella Calabria; e ricca è la fauna di coralli che hanno rapporti con i coralli viventi oggi nei mari tropicali, di cui si hanno isole e scogliere formate nel miocene della Sardegna, della Sicilia, del mezzodì della Calabria.

Non scarsi sono gli echinidi (*Clypeaster, Psammechinus*, ecc.) (fig. 135), mentre sono piuttosto rare le stelle di mare ed abbondano i crinoidi, sia in Romagna che nell'Emilia e nella Toscana. Si rinvengono anche insetti, tanto nell'ambra che si trova sulle coste del Baltico, come in Italia nello schisto bianco del Gabbro (prov. di Pisa); essi sono, per la maggior parte, di specie viventi, e ricordiamo varie cimici, termiti e cicale. Abbondano anche i miriapodi e gli aracnidi; e si può dire che nel miocene sono rappresentati tutti gli ordini di artropodi oggi viventi.

I *Cerithium*, i *Pecten*, le *Arca, Lima*, *Cypraea* sono abbondantissimi. I cefalopodi offrono pochi resti (fig. 136).

Caratteristici poi sono i grandi denti di squalo, nonchè numerosissimi avanzi di altri pesci, costituiti da ossa, scheletri intieri, denti, piastre dentali. Fra i generi principali ricordo: *Raja*, *Dentex*, *Umbrina*, *Aetobates*. Le marne di Castellina marittima (prov. di Pisa) contengono abbondanti resti di pesci, e se ne trovano anche nelle Marche, in Calabria, in Puglia, in Sicilia, ecc.

Non mancano giganteschi anfibi caudati, e sono comuni i rettili cheloniani (*Emys*, *Cistudo*, *Tryonix*) ed i coccodrilliani, specialmente nella Maremma toscana ed in Piemonte.

Gli uccelli scarseggiano, non perchè facessero difetto i generi e le specie loro, ma perchè non si ebbero favorevoli condizioni alla loro fossilizzazione; se ne trovano alcuni in Toscana, e varii anche se ne hanno fuori d'Italia. Moltissimi sono di generi ancora viventi, ed anche gli estinti hanno grandi analogie con le specie attuali. Piú comuni sono i trampolieri ed i palmipedi, rari invece i rapaci, i gallinacei, i colombacei, ed alcune famiglie di passeracei (corvidi, motacillidi). Dei pellicani si sono trovati persino i nidi ed i gusci di uova (Ries presso Nördlingen).

Fig. 136. — *Spirulirostra Bellardii*. Miocene delle colline di Torino.

I mammiferi raggiungono un altissimo grado di sviluppo, e se ne trovano resti numerosi nei giacimenti di lignite. Compaiono i proboscidiani col genere *Mastodon*, e sono le forme piú importanti del periodo. I mastodonti erano simili agli elefanti, ma avevano, almeno le specie meno recenti, due zanne alla mascella e due alla mandibola. Si hanno i *Dinotherium* proboscidati i cui incisivi inferiori erano trasformati in potenti difese, ripiegate verso il basso. Abbondano i *Rhinoceros*, i Tapiri, gli Ippopotami, gli *Hipparion* od *Hippotherium* un genere di ungulati che ha rapporti coi nostri cavalli. Ma importantissimo per la discendenza degli equini è l'*Anchitherium*. Questo, come l' *Hippa-*

rion aveva tre dita con zoccolo di cui le due laterali molto sviluppate (nel cavallo sono ridotte a due stiletti); l'*Hipparion* accenna già ad una riduzione nelle dita laterali.

Ma per la discendenza del nostro cavallo la serie delle forme è molto piú complicata nell'America. Ivi si va dall'*Orohippus* dell'eocene (con 4 dita) al *Mesohippus* del miocene (con tre dita ed un rudimento del quarto), al *Miohippus* pure del miocene (con tre dita di cui le laterali un poco piú ridotte), al *Protohippus* del pliocene (con tre dita di cui le laterali sono piú ridotte) fino all'*Equus* attuale. I primi due animali (*Orohippus* e *Mesohippus*) si possono ascrivere ai paleoteridi; il *Miohippus* corrisponderebbe all'*Anchitherium*; il *Pliohippus* ad una forma intermedia tra l'*Hipparion* e l'*Equus*. Il genere *Anthracotherium*, paragonabile ad un cinghiale privo di zanne, si sviluppa e scompare col miocene; ma compaiono anche l'antilope ed il castoro, e feroci carnivori come *Amphicyon*, *Hyaena*, *Ictitherium*, *Hyaenarctos*. Vi sono scimmie (*Pliopithecus*, *Semnopithecus*, *Oreopithecus*) che si rinvengono nelle ligniti, ed altre, come *Dryopithecus*, che hanno affinità colle attuali antropomorfe, ma non si possono considerare come forme di transizione tra le scimmie e l'uomo.

Nei mari vissero vari cetacei, sirenoidi e pinnipedi, e se ne rinvennero a Cadibona in Liguria, a Monte Bamboli, al Casino in Toscana, ad Agnana in Calabria. Così si trovarono lo *Squalodon* (un cetaceo che mostra somiglianze coi delfini), l'*Halitherium* ed il *Metaxytherium* (due sirenoidi).

La flora miocenica presenta una grandissima ricchezza, e ci attesta che a miti inverni dovevano succedere estati piovose. I *Platanus*, i *Liquidambar* abbondano, e cosí le quercie ed i lauri. Le graminacee si moltiplicano. Una ricca flora miocenica si trova a Senigallia in Italia (fig. 137). L'abbondanza delle diatomee ha dato origine in molti luoghi a ricchi depositi di Tripoli, come ad Oeningen in Svizzera ed a Bilin in Boemia. Si formano nel miocene ampi depositi di lignite, talora carbonizzati al punto da

essere ridotti a veri depositi di litantrace; così a Monte Bamboli ed al Casino in Toscana, ad Agnana in Calabria.

Nell'Irlanda, nella Groenlandia, allo Spitzberg si rinvengono numerosissime specie di piante, tra cui il cipresso palustre, l'abete, due specie di pino, dei nocciuoli, delle canne ed alcune ninfee, nonchè la *Sequoia*, le quali costituiscono una flora totalmente differente da quella che oggi popola quelle terre, e che ha il carattere della flora della zona temperata. Anzi la flora della Groenlandia accenna a temperatura anche più calda di quella che doveva sussistere allo Spitzberg. Troviamo insomma che, sino alla latitudine boreale di 82°, ove oggi si hanno nevi e ghiacci ed una meschinissima vegetazione, si estendeva nel miocene una vegetazione sorprendente per forme, che induce ad ammettere che allora la temperatura media di quelle terre fosse almeno di + 9° C., mentre oggi è appena, per le più settentrionali, di — 11° C., e per la terra di Grinnell persino di — 20° C.

Fig. 137.
Juglans acuminata.
Miocene dei dintorni di Senigallia.

A spiegare questo fatto si può, col sommo astronomo SCHIAPPARELLI, ammettere che « per processi geologici di pochissimo conto, ma continuati per lunghissimo tempo, si possano determinare spostamenti notevoli nei poli ». Per altro l'ipotesi dello spostamento dei poli può spiegare in parte il fatto, ma non soddisfa intieramente se non è associata ad altra ipotesi, cioè a quella delle variazioni nella distribuzione delle terre e dei mari, con cui è in rapporto direttissimo una variazione delle condizioni climatiche delle varie regioni. Ora la geologia dimostra appunto che nel terziario avvennero grandi modificazioni nella forma dei continenti, quindi anche mutamenti nei climi.

Nondimeno la questione è molto complessa, nè ancora si può dire risoluta.

Il miocene in Italia. — Ad incominciare dal Piemonte e dalla Liguria, ove il miocene si stende qua e là sul versante alpino ed appenninico, si ritrova esso nelle Prealpi lombarde e venete; ed è importante a considerarsi il miocene della Valle di Scrivia, con successioni di depositi d'acqua dolce e di depositi marini ricchi di fossili.

Il miocene del Vicentino contiene depositi lignitiferi con resti di *Anthracotherium;* e nel Vicentino sono notevoli gli strati di Schio, sabbiosi o calcarei, con numerosi echinodermi (*Scutella*) e varî lamellibranchi. Lembi fossiliferi, importanti per la ricchezza malacologica e pei numerosi avanzi di radiolarie, si trovano nelle provincie di Reggio e di Parma. A Senigallia il miocene offre depositi di gesso e zolfo ed una flora notevole. Del resto il miocene è specialmente sviluppato sul versante adriatico dell'Appennino.

Marne di acqua dolce e salmastra, depositi calcarei e sabbiosi sono presentati dal miocene delle provincie di Pisa e di Livorno, a Castellina Marittima e Rosignano. Le celebri cave di alabastro di queste località e quelle di Pomarance in quel di Volterra sono mioceniche; e mioceniche senza dubbio sono le ligniti di Monte Massi, di Monte Rufoli, di Monte Bamboli ed altre in Toscana.

Il miocene è sviluppatissimo pure nell'Italia meridionale. Lo troviamo in Basilicata, in Calabria ed in vicinanza di Lecce, ove forma quel calcare, ricco di pesci fossili, detto *pietra leccese.*

Il Gargano e le Puglie sembra si unissero nel miocene alla Dalmazia.

Abbonda il miocene medio in Sardegna, ove manca l'inferiore e scarseggia il superiore. Ivi sono abbondanti i resti di pesci, e vi si trovò anche un coccodrilliano (*Tomistoma Calaritanus*).

Il miocene siciliano è importantissimo per la formazione zolfifera, che ne costituisce la parte superiore, e per i potenti strati di tripoli.

Il miocene fuori d'Italia. — Si trova il terreno miocenico nel bacino della Loira sotto forma di depositi marini, composti di conchiglie

spezzate, briozoi, polipai, con sabbia silicea ad elementi più o meno grossolani, formanti colline cui vien dato il nome di *faluns*. Ivi si appoggia direttamente sul cretaceo, perchè manca l'eocene. Manca il miocene nel bacino di Parigi, ed è scarsissimo in Inghilterra. Importante è invece il miocene della Svizzera, con depositi d'acqua dolce e marina, molassa (arenaria poco tenace, con cemento argilloso ocraceo), e depositi importantissimi di lignite.

Nella formazione miocenica svizzera fu rinvenuta una grande salamandra (*Andrias Scheuchzerii*), i cui resti furono da prima considerati come resti di un uomo (homo diluvii testis).

Nel miocene di Pikerni in Grecia fu, tra gli altri mammiferi, rinvenuta un'altra scimmia, il *Mesopithecus*.

Miocene si ha nel bacino di Vienna. Ivi la catena alpina è spezzata, ed il bacino di Vienna risiede nell'area di sprofondamento, che si originò tra il miocene superiore e l'inferiore. Vi si rinviene il calcare di Leitha, pietra ottima per costruzione, formatosi in acqua poco profonda per opera di alghe calcaree e di coralli.

Si trova il miocene a Giava con letti di lignite; e lignite miocenica trovasi fino nella Groenlandia e nello Spitzberg. Notevoli sono i depositi miocenici degli Stati Uniti; ed il miocene dell'America meridionale è caratterizzato da una fauna di marsupiali, di roditori, di maldentati, molto diversa dalla fauna miocenica dell'Europa.

Riassumendo, per l'Europa il mare si estendeva più al sud che al nord. Il bacino di Magonza si chiude completamente in questo periodo; e un singolare sviluppo è raggiunto dai sedimenti del miocene sulle coste dell'Atlantico e dell'antico Mediterraneo, il quale per altro non aveva la configurazione che ha oggi; così le Alpi vi formavano una isola allungata, ed erano inondati il bacino di Vienna e la pianura ungherese. La valle del Po era mare; mare gran parte della Sicilia, mentre l'Adriatico era quasi tutto terraferma.

Un altro mare si estendeva lungo il nord dei Carpazi sino al lago Aral, comprendendo a sud il mar Nero, ed i sedimenti ivi formatisi furono detti *sarmatici*.

La fauna sarmatica è povera di invertebrati, ricca invece di vertebrati marini (foche, delfini, sirenoidi, piccole balene). Questa fauna è tanto diversa, nella sua maggior parte, da quella degli altri sedimenti miocenici, che si può considerare addirittura come vivente in un mondo separato dal resto. Si aggiunga che, rarissime eccezioni fatte, le specie sarmatiche si sono estinte senza lasciare discendenti.

Sistema pliocenico. — Al miocene fa immediatamente seguito il pliocene; ma in alcuni luoghi il passaggio è così graduato, che, essendo impossibile segnare un limite

preciso, si sogliono indicare le formazioni di passaggio col nome di *mio-plioceniche*. Il pliocene è anche indicato col nome di *subappennino*, perchè si mostra sviluppatissimo nelle colline che fiancheggiano l'Appennino. Appunto pel grande suo sviluppo in Italia fu ivi per la prima volta studiato, ed il nome del Brocchi[1] è una gloria nella storia del pliocene italiano.

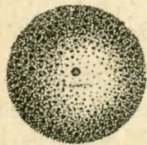



Fig. 138. *Orbulina universa.* Pliocene delle colline di Siena.

Il pliocene italiano può distinguersi in due zone: l'una inferiore, l'altra superiore. La zona *inferiore* è formata da argille marnose, azzurre, ed è detta anche *orizzonte piacentino* o *piacenziano*, perchè ben rappresentato nella parte orientale della provincia di Piacenza (Lugagnano, Castellarquato ecc.); la zona *superiore* è costituita da sabbie, che in generale sono gialle, e da conglomerati, ed è detta anche *orizzonte astiano* (piano di Asti). I calcari sono rari, ma ne offre bellissimo esempio la collina di S. Colombano (Lodi), ove si ha un banco calcareo che è compreso tra le argille e le sabbie o tra le argille.

Fig. 139. *Hydractinia pliocaena* Allman. Pliocene di Asti (Piemonte).

La conformazione dei continenti fu nel pliocene assai somigliante alla attuale; quindi furono grandi i cambiamenti avvenuti verso la fine del miocene nella distribuzione delle terre e dei mari.

La fauna pliocenica è principalmente marina, e di specie per la maggior parte ancora viventi. Sono piuttosto numerose le foraminifere, come l'*Orbulina* (colline di Siena) (fig. 138), rari gli idrozoi (fig. 139), scarsissimi gli asteroidi; in Italia mancano completamente i coralli costruttori, e sono piuttosto scarsi anche gli altri.

---

[1] Celebre naturalista italiano, nato a Bassano nel 1772, m. a Chartum nel 1826, noto per i suoi studi sulla concologia fossile del subappennino.

In compenso i gasteropodi ed i lamellibranchi sono abbondantissimi, specialmente dei generi *Nassa*, *Voluta*, *Fusus*, *Venus*, *Panopaea*, *Mactra*. Un genere caratteristico del pliocene inferiore, e di quella parte che ha così intimi contatti col miocene, è il genere *Congeria*. Gli strati a congeria formano parte del così detto *piano pontico*.

Numerosi i *Dentalium* (scafopodi). Nelle acque dolci e salmastre del periodo vissero abbondanti le *Paludina* e le *Melanopsis*. Quest' ultime si trovavano allora in numero grandissimo nelle acque dolci d'Italia, mentre oggi sono limitate ad alcune località della Maremma toscana.

In Europa non vivono rettili coccodrilliani; rari sono i serpenti; ed anche i pesci e gli uccelli non hanno lasciato che scarsi resti. Abbondantissimi sono invece i mammiferi, estesi sopra grande area. Raggiungono il loro massimo sviluppo i rinoceronti (provvisti di corna che forse mancavano ai loro antenati) e gli ippopotami; comparisce il genere *Equus*. Si estendono i grandi proboscidati, in particolar modo l'*Elephas meridionalis*, e perdura per tutto il periodo in Europa il mastodonte, che ivi si estingue alla fine del pliocene, mentre in America dura anche nel periodo successivo. La specie più importante è il *Mastodon longirostris*. I ruminanti sono numerosi coi generi *Cervus* e *Bos;* non rari i roditori (lepri, castori, ecc.) ed i carnivori (*Ursus etruscus, Felis arvernensis*). Tra i carnivori vanno ricordati anche i cani ed il *Machaerodus megantheréon*, grosso come una pantera ed armato di potente dentatura; esso fu trovato anche in Valdarno.

In Europa trovasi anche un maldentato, l'*Orycteropus;* ma in America, e principalmante nell'America del Sud, i maldentati raggiungono uno sviluppo sorprendente.

Son rari i pinnipedi, ma assai abbondanti i cetacei, di cui anche in Italia, specialmente nell'Emilia ed in Toscana, si rinvengono numerosi resti. Poche sono le scimmie, ed alcune ne furono trovate anche in Italia (*Macacus florentinus*).

La flora è quasi simile alla vivente, giacché comprende

parecchie specie ancora viventi, con la sola differenza che molte di queste sono ora accantonate in regioni tropicali. Vi si trovano faggi, quercie, platani (fig. 140). Molte specie vegetali che vissero durante il periodo pliocenico in Europa si trovano oggi nelle foreste dell'America.

Nel pliocene si hanno depositi di combustibile fossile, di gesso e di diverse sostanze preziose, in giacimenti secondari, come oro, platino e varie gemme.

È certo che nell'Europa meridionale si ebbe una immersione al principio, che fu seguita da una successiva emersione. Si sollevarono anche le Alpi orientali. Il Mediterraneo aveva confini un poco diversi dagli attuali; si estendeva di più al nord, mentre si restringeva verso il sud. L'Affrica era unita con la Sicilia e con la Spagna, ed il Mediterraneo comunicava con l'Atlantico, attraverso la Spagna. Alla fine del miocene l'Italia era ancora, molto probabilmente, unita alla Corsica ed alla Sardegna, formando massa continentale con le isole dell'Arcipelago toscano; anche l'Adriatico in gran parte era asciutto; è al principio del pliocene che i continenti cominciano ad acquistare forme simili alle attuali.

Fig. 140. — *Platanus aceroides*, Goeppert. Pliocene del Valdarno.

Arsero vulcani in Sardegna, in Toscana, nel Lazio; quelli dei Campi Flegrei, il Somma e l'Etna si destarono sulla fine del periodo.

Il clima, nelle regioni settentrionali, incomincia a raffreddarsi a poco a poco al principio del pliocene.

Il pliocene in Italia. — In Italia si hanno depositi pliocenici estesissimi nelle colline dell'Astigiano, del Piacentino, del Parmigiano, del Modenese, del Bolognese, in Romagna, in Toscana, e può dirsi lungo tutto il fianco settentrionale ed orientale dell'Appennino (fig. 141).

Lungo il versante meridionale delle Alpi si notano lembi di pliocene, che debbono essere in rapporto col pliocene

appenninico dall'altra parte della vallata del Po. Probabilmente i depositi successivi hanno coperto nella vallata i depositi pliocenici. In Val Brembana ed in Val Seriana è sviluppato il pliocene con un conglomerato detto *ceppo*, dovuto ad un'alluvione torrenziale, derivante dai materiali che i torrenti strappavano alle Alpi portandoli al littorale

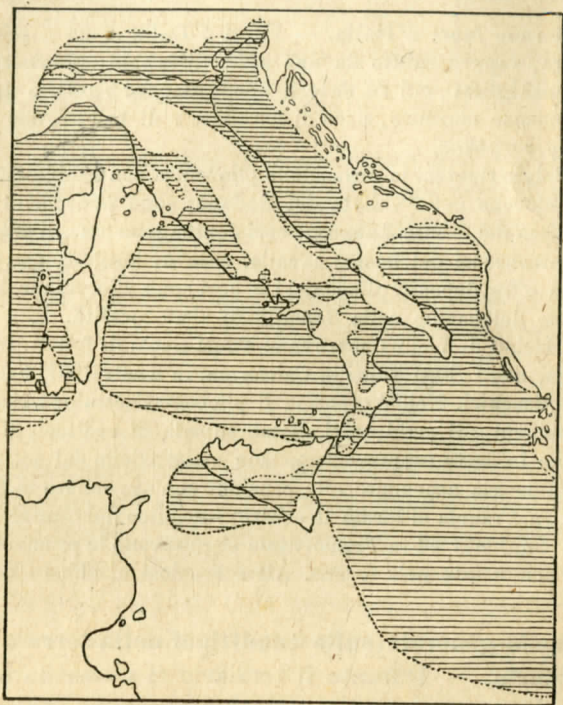



Fig. 141. — L'Italia verso la fine del pliocene. Distribuzione probabile del mare (tratteggiato) e della terra emersa (dal Fischer).

del mare pliocenico. In Toscana il pliocene è caratteristico colle sue sabbie gialle ed argille turchine nelle colline di Siena, di Pisa, di Volterra. Nella Val d'Arno superiore si estese un bacino lacustre sulle cui rive vissero varii mammiferi, come ce lo attestano gli abbondanti resti, fra cui: due *Macacus*, diversi *Felis*, *Canis*, *Ursus*, *Hyaena*, *Equus*, *Mastodon*, *Elephas*, *Rhinoceros*, *Sus*, *Bos*, *Cervus*, *Lepus*, ecc.

Nella Capitanata, nella Basilicata, sino al golfo di Taranto, ed in Calabria, meno che lungo il Tirreno, sono numerosi i depositi pliocenici. Per la ricca flora va ricordato il pliocene astigiano, ove si rinvengono diverse specie di piante.

Bene sviluppato è il pliocene anche in Sicilia; mentre non è altrettanto certa la sua esistenza in Sardegna.

Il pliocene fuori d'Italia. — Fuori d'Italia si ha il pliocene in Inghilterra, rappresentato da una serie di sabbie, ghiaie e conglomerati conchigliferi, cui fu dato il nome di *crag rosso,* e da un deposito arenaceo marnoso, ricco di corallari e di briozoi, che fu chiamato *crag corallino.*

Nel Belgio ripetesi la formazione pliocenica con sabbie. In Francia si ha il pliocene nella vallata del Rodano; sono pliocenici i depositi ricchi di ossa del Monte Laberon; essi contengono ossa di *Hipparion*, uno dei precursori del nostro cavallo, ossa di antilopi, ecc. Il piano di Brenne offre depositi pliocenici; e così sono plioceniche le marne e le sabbie del bacino della Saône e di altre località.

Nel Bacino di Vienna si trovano strati ricchi di fossili. In Grecia, in Algeria, negli Stati Uniti in California, in Australia si hanno pure depositi pliocenici. Nell'Argentina il pliocene ricetta una ricca fauna prevalentemente di maldentati, di marsupiali, di roditori, di perissodattili, che in parte rappresentano una emigrazione dal settentrione.

Abbiamo già accennato alle eruzioni che avvennero in Italia nel pliocene. In Francia si formò il centro vulcanico del Cantal, il Mont-Dore. In Ungheria ed in Transilvania seguitarono le eruzioni che già avevano cominciato nell'eocene. Altre eruzioni si ebbero nell'Eifel.

Sguardo generale sulle condizioni della terra alla fine del terziario. — Durante il terziario il clima europeo fu, come vedemmo, piuttosto caldo nel miocene, e si raffreddò poi nel pliocene.

Avvennero grandi cangiamenti nella distribuzione delle terre e dei mari. La terra affricana si separò dall'India; il Mediterraneo si chiuse dalla sua parte orientale; le due Americhe si congiunsero, permettendo l'emigrazione delle specie dal nord al sud e viceversa; nel tempo stesso si sommergevano le terre che legavano l'Europa e l'Affrica all'America, rimanendo, del vasto continente che si chiamò Atlantide, pochi resti rappresentati dalle isole del Capo

Verde, dalle Canarie, dalle Azzorre, e si formò l'Atlantico, separato dal Pacifico. Per altro le due Americhe erano unite non per il solo istmo attuale, ma per una estesa terra, che si è poi abbassata, lasciando le Antille come residuo.

ERA NEOZOICA O QUATERNARIA

L' êra neozoica è caratterizzata da segni manifesti della presenza dell'uomo, e perciò fu dallo STOPPANI detta *Antropozoica*.

Varie specie, che nel pliocene erano già in decadenza, si estinguono completamente nei primi tempi di questa êra. Ma il clima subisce un profondo cambiamento, per cui, accentuandosi notevolmente la precipitazione atmosferica, prendono un grande sviluppo le nevi, e quindi i ghiacciai. Piú tardi i ghiacciai si ritirano, e si stabiliscono le condizioni climatiche attuali.

La fauna marina del quaternario è indentica all'attuale. In gran parte lo è anche la fauna terrestre, ma molte specie, che il cambiamento di clima costrinse ad emigrare, non poterono superare gli ostacoli naturali, quali i bracci di mare o le catene montuose, e furono quindi, perché impotenti a lottare, distrutte; altre specie invece li superarono ed emigrarono in altre regioni. Cosí trovansi nei depositi quaternarii, insieme a specie viventi ancora, altre estinte ed altre emigrate. Si estingue nella êra neozoica l' *Elephas antiquus*, diretto successore dell' *Elephas meridionalis*, poi si estingue il mammut (*Elephas primigenius*) (fig. 142); si estinguono il *Felis spelaea*, l' *Hyaena spelaea*, l' *Ursus spelaeus*, il *Rhinoceros tichorinus*, l'*Hippopotamus maior*, ecc. La renna invece emigra, come hanno emigrato l'*Antilope rupicapra* (camoscio) e la marmotta. Nell' America si hanno alcuni mammiferi simili a quelli che vissero in Europa, come la renna ed il mammut, ma altri ve ne furono tutti particolari, come: il *Mylodon robustus* (armadillo lungo fino a tre metri) ed il *Glyptodon*, il quale era armato di una

corazza immobile a differenza di quella degli armadilli, trovati ambedue nei depositi delle pampas nell'Argentina; il colossale maldentato *Megatherium Cuvieri* lungo fino a 6 metri; l'*Elephas americanus*, ecc. Nell'Australia si trovano solo marsupiali che sono giganteschi in paragone a quelli che vi vivono oggidí.

Oltre le specie di mammiferi sovra mentovate, merita menzione una scimmia recentemente trovata dal DUBOIS a Sumatra, denominata *Pithecanthropos*, che si vorrebbe fosse il termine di passaggio tra le scimmie e l'uomo.

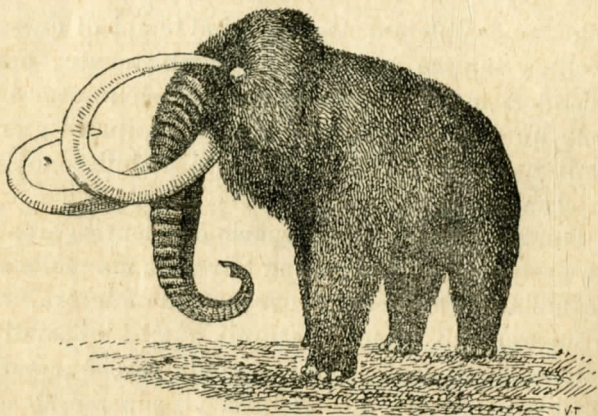



Fig. 142. — Ricostituzione dell'*Elephas primigenius* Blumenbach, o Mammut.

Vanno ricordati tra gli uccelli i grossi *Aepyornis* del Madagascar, e i *Dinornis* della Nuova Zelanda.

Sono anche interessanti i molluschi, di cui, in Italia, in alcuni luoghi, si ha notevole abbondanza, come *Cyprina islandica*, *Buccinum undatum*, *Mya arctica*.

La flora quaternaria europea ha grandissima analogia con l'attuale, con questo però che nei depositi piú antichi la flora accenna a clima caldo umido, mentre nei meno antichi si hanno specie poco diverse da quelle che vivono oggi in Europa.

Tanto per la ricca flora, quanto per la ricchissima fauna di vertebrati, va ricordato il bacino di Leffe in Lombardia, considerato come glaciale e dovuto al cono di deiezione del torrente che sgorgava dal ghiacciaio della Val Seriana. Le principali specie vegetali ivi trovate sono: *Trapa natans*, *Iuglans bergamensis*, *Castanea vulgaris*, *Abies excelsa* ecc.

Una divisione cronologica dell'êra neozoica basata sulla fauna non può avere un gran valore. Considerando che l'*Elephas meridionalis*, l'*Elephas antiquus*, il *Rhinoceros Merckii*, l'*Hippopotamus maior* sono piú antichi dell'*Elephas primigenius*, del *Rhinoceros tichorinus*, dell'*Ursus spelaeus*, si cercò di fondare su questi due gruppi una classificazione cronologica. Ma questi gruppi son tutt'altro che separati, anzi si compenetrano; per cui i criterî paleontologici non sono sufficienti per una divisione dell'era neozoica; i criterî per tale divisione dobbiamo trovarli nei fenomeni avvenuti in questa êra, ossia nel grande sviluppo dei ghiacciai, del quale sono una prova gli estesi depositi morenici, e nel successivo terrazzamento per opera dei fiumi. Cosí ci è dato suddividere l'êra in due periodi, ossia: periodo *glaciale* e periodo *alluvionale* o *dei terrazzi*.

La parte piú bassa del gruppo può indicarsi anche col nome di *pleistocene*, che da alcuni autori è riservato all'intiera êra; essa si mostra con formazione mista fluvioglaciale come il *crag* di Norwich, con un calcare bianco giallognolo, come il calcare di Girgenti, con un conglomerato ciottoloso conchigliare littoraneo, come la *panchina quaternaria* di Toscana, in cui trovansi principalmente specie viventi oggi nei mari tropicali.

È nel periodo dei terrazzi che i piú degli autori vogliono che sia comparso per la prima volta l'uomo; e a questo periodo possiamo far succedere quello in cui l'uomo ha lasciato profonde traccie della sua industria, e che, appunto perché caratterizzato dalla presenza dell'uomo, fu detto periodo *antropozoico*; a questo si connette l'attualità.

Periodo glaciale. — Sul finire del periodo pliocenico le terre subirono un sollevamento, che si accentuò al prin-

cipio dell'êra quaternaria. Ciò portò come conseguenza un aumento nelle forze erosive dei torrenti, per cui nelle vallate alpine si formarono enormi cumuli di materiale detrititico, che, trasportati nelle vallate più basse e nei seni marini, e coadiuvati dal lento sollevarsi del fondo, giunsero a colmarli. Certo la formazione di questi materiali precedette il grande sviluppo dei ghiacciai, che sopra di essi deposero le loro morene; ma questa *alluvione antica* o *diluvium*, come fu anche chiamata, deve pure essere stata una conseguenza del fenomeno medesimo che produsse i ghiacciai, ossia dell'abbondante precipitazione atmosferica; e, mentre i ghiacciai lentamente si avanzavano, i torrenti, che da questi sgorgavano, scavavano il suolo e preparavano quel materiale detritico sul quale, a poco a poco, il ghiacciaio che si avanzava deponeva le sue morene. In questo *diluvium* sono abbondanti i resti di mammiferi terrestri.

L'enorme sviluppo dei ghiacciai in quell'epoca è provato all'evidenza dalle morene frontali, che sbarrano quasi tutti gli sbocchi delle vallate alpine; dai fianchi delle valli lustrati e striati; dalla diffusione dei ciottoli anch'essi striati e levigati; dalle morene laterali e d'ostacolo, dai massi erratici.

Di più si rinvengono depositi lacustro-glaciali, originatisi in seno a laghi, la cui formazione è dovuta allo sbarramento del letto di un corso d'acqua per opera di un ghiacciaio, come abbiamo già veduto verificarsi anche oggi. In alcune vallate, evidentemente già solcate da un ghiacciaio, manca la morena frontale. Ciò vuol dire che il ghiacciaio metteva capo al mare, come oggi nelle regioni artiche; le onde del mare lo spezzarono, ed il materiale morenico ne venne sparso, formandosi dei depositi erratici.

La regione classica per le traccie di antichi ghiacciai è la regione alpina. A mezzogiorno i ghiacciai alpini arrivavano fino alla pianura del Po. Il ghiacciaio del Tagliamento giunse fin quasi ad Udine, quello del Piave fino a Vittorio. I ghiacciai dell'Adige, dell'Oglio, dell'Adda, del Ticino, scendendo lungo valli già formatesi nell'età

precedente e riempiendole fino alle maggiori altezze, arrivarono a mezzogiorno dei laghi di Garda, d'Iseo, di Como e Maggiore, lustrando e rigando il fondo delle valli medesime, trascinando a basso ciottoli spesso striati e massi colossali delle piú lontane vette delle montagne, e formando quegli anfiteatri morenici che si trovano appunto all'uscita

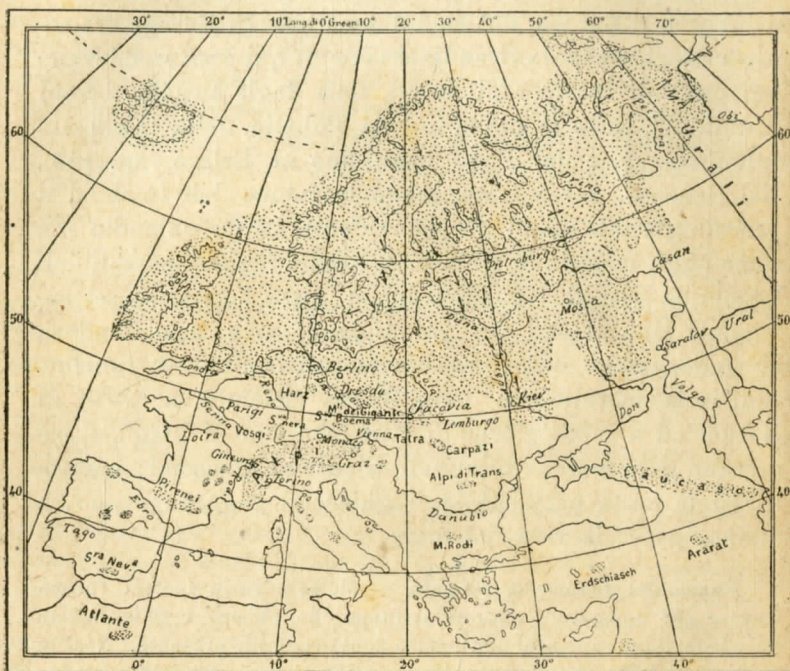



Fig. 143. — Espansione glaciale in Europa nell' êra quaternaria (Penck e Neumayr). — L'area punteggiata indica l' estensione dei ghiacciai; le freccie la direzione di movimento dei settentrionali.

di ciascuno di quei laghi nel piano. Fino alla pianura piemontese giunsero i ghiacciai delle Dore Baltea e Riparia. (Vedasi l'indicazione degli anfiteatri morenici nella nostra *Cartina geologica*).

A settentrione i ghiacciai delle Alpi giungevano fino al Giura coprendo tutta la Svizzera, ed il ghiacciaio del Rodano arrivava fino a Lione.

Né la formazione di questi grandi ghiacciai si limitò alle Alpi, ché in tutto l'Appennino settentrionale fino alla valle del Reno bolognese, nelle Alpi Apuane, nella giogaia del Gran Sasso abruzzese, nel Dolcedorme sui confini della Basilicata, ed in Corsica, si ebbero vedrette e ghiacciai, talora lunghi 6 o 7 chilometri.

Corrispondente sviluppo ebbero i ghiacciai delle altre montagne d'Europa, d'Asia e d'America. In Europa era coperta di ghiacciai la Scandinavia, e di qui essi scendevano a coprire di roccie e di fossili, tolti dagli antichi terreni scandinavi, tutte le pianure della Polonia, della Germania settentrionale e dei Paesi bassi fino al Belgio (fig. 143). Nel Caucaso, nel Libano, lungo le catene dell'Imalaia, il periodo glaciale lasciò traccie evidenti. La Groenlandia era, come oggi, coperta di ghiacciai, e dalle regioni boreali dell'America essi si diffondevano su tutta l'America settentrionale sino al sud dei grandi laghi, ove, sciogliendosi, abbandonavano numerose cerchie di colline moreniche. Nell'isola meridionale della Nuova Zelanda, a N-W di Nelson ed a mezzogiorno di Canterbury e di Otago, si osservano pure morene terminali di antichi ghiacciai; mentre lungo la costa occidentale, i ghiacciai raggiungevano, a quanto pare, la riva del mare.

Cause del fenomeno glaciale. — Molte e varie ipotesi furono emesse per spiegare l'enorme sviluppo che ebbero i ghiacciai in un'epoca relativamente non molto lontana dalla presente. Nessun dubbio sul fatto che, come abbiamo visto, è provato dall'esistenza dei massi erratici, delle morene, dei ciottoli striati, ecc.; ma quanto alle cause, l'ipotesi che sembra a prima vista più naturale, e che fu da molti sostenuta, è quella di un notevole abbassamento della temperatura. Ma ad aumentare l'estensione di un ghiacciaio non basta l'abbassamento di temperatura; è necessario un aumento di precipitazione ed una diminuzione dell'ablazione durante l'estate. Quindi, in ogni caso, sarebbe un abbassamento della temperatura estiva quello che gioverebbe di più allo estendersi dei ghiacciai. D'altra parte, secondo alcuni autori, basterebbe una diminuzione di 4° a 5° nella temperatura media annuale d'Europa, perché si rinnovasse il fenomeno glaciale.

A spiegare l'abbassamento della temperatura si invocarono cause

astronomiche, quali le variazioni della costante solare, dell'obliquità dell'eclittica, dell'eccentricità dell'orbita terrestre, ecc. e cause geografiche, come la distribuzione ed estensione dei continenti e degli oceani, la natura della superficie terrestre, la trasparenza dell'aria, le variazioni nelle correnti marine e nelle aeree ecc. Una ipotesi che ebbe molto credito fu quella del CROLL, il quale attribuisce molta importanza, come già dicemmo (pag. 140), alle lente variazioni della eccentricità dell'orbita terrestre. L'eccentricità, che è ora di $1/60$ del semidiametro maggiore dell'orbita, e tende a diminuire, raggiunse in passato il valore di $1/12$, nel qual caso la distanza tra il sole e la terra all'afelio ed al perielio sarebbe stata respettivamente di 26 milioni e di 5 milioni di chilometri. Ma in questo caso, come già osservammo, l'inverno sarebbe stato, nel nostro emisfero, eccessivamente lungo e freddo, l'estate breve e calda; e queste non sono condizioni favorevoli allo sviluppo dei ghiacciai.

Un'altra ipotesi, che anche di recente si è cercato di rimettere in onore, è la così detta *ipotesi orografica*, la quale attribuisce il fenomeno glaciale ad una maggiore elevazione temporanea dei sistemi montuosi dai quali scendevano i ghiacciai quaternarî. Il riabbassarsi delle catene montuose avrebbe prodotto il successivo ritiro dei ghiacciai. Secondo alcuni, non sarebbe occorso per ciò un nuovo movimento del suolo, ma l'abbassamento delle montagne sarebbe stato opera della degradazione. Ma anche l'ipotesi orografica si ritiene dai più insufficiente a spiegare il fenomeno glaciale, e anche ad essa si oppone il fatto della universalità, omai incontrastabile, del fenomeno medesimo.

Secondo DE MARCHI,[1] l'invasione glaciale sarebbe « il prodotto di un abbassamento generale della temperatura, collegato (sia in ragione di dipendenza, sia di semplice concomitanza) con un generale aumento di umidità e di piovosità ». Infatti, ogni periodo principale nel progresso dei ghiacciai è preceduto, come risulta dalle osservazioni di LANG e di altri, da una serie di anni assai piovosi e relativamente più freddi. « Questo abbassamento di temperatura – continua il De Marchi, – dovrebbe esser dovuto piuttosto a una diminuzione della temperatura estiva, che a una diminuzione dell'invernale ». « In altri termini, mentre la temperatura media diminuiva, doveva diminuire, nei primordî dell'era glaciale, anche l'escursione annua della temperatura, variando di poco la temperatura invernale e diminuendo invece sensibilmente la temperatura estiva ». — « La ricerca delle cause che hanno determinato l'invasione glaciale si risolve quindi nella ricerca di quelle condizioni astronomiche, geogra-

---

[1] LUIGI DE MARCHI, *Le cause dell'êra glaciale*. Pavia, 1895.

fiche e meteorologiche, che possono diminuire tanto la temperatura media quanto l'escursione annua della temperatura dell'aria ».

L'ipotesi fondamentale più probabile sarebbe, secondo De Marchi, quella di « una sensibile diminuzione nella trasparenza dell'atmosfera terrestre, dovuta alla introduzione nel meccanismo atmosferico di una quantità di vapor acqueo maggiore della consueta ». E questa sarebbe stata conseguenza di una esagerazione dei periodi straordinariamente umidi che tuttora si succedono ad intervalli di circa 35 anni, esagerazione che si sarebbe verificata al principio dell'êra quaternaria.

Oggigiorno si ammette dalla maggior parte dei geologi che la fase glaciale sia stata doppia, che cioè abbia avuto luogo, al principio dei tempi postpliocenici, una prima espansione dei ghiacciai, seguìta tosto da una retrocessione, poi da un nuovo periodo di sviluppo. Ciò spiega come, in molti depositi morenici, come ad esempio nell'anfiteatro d'Ivrea, sieno intercalati letti di alluvione. Nella prima fase, tanto in Europa quanto nell'America settentrionale, i ghiacciai acquistarono estensione e potenza maggiori che nella seconda fase. All'intervallo tra le due fasi si riferiscono, nella regione prealpina, depositi, spesso lignitiferi, che accennano a potenti fenomeni alluvionali ed a clima più mite.

Periodo dei terrazzi. — Al periodo glaciale succede un periodo caratterizzato da un generale ritiro dei ghiacciai. Durante questo periodo l'azione dei fiumi alimentati dai ghiacciai deve essere aumentata. Essi hanno scavato il loro letto nelle precedenti alluvioni, aiutati in ciò dal sollevarsi del suolo, per cui i fiumi si sono successivamente formato un alveo più stretto, producendo quindi più gradinate o *terrazzi* dall'una e dall'altra parte delle sponde.

Per opera dei fiumi si debbono anche essere formati necessariamente dei depositi; ed infatti i *terrazzi* sono formati anche da accumulamenti di ciottoli fluviali, in cui spesso si rinvengono ossa di animali, come di mammut, di rinoceronte, ed anche avanzi dell'industria umana.

Altro sedimento dovuto alle inondazioni dei fiumi è il *loess*, specie di fango calcareo sabbioso, contenente conchiglie terrestri, e talvolta qualche gasteropode o lamellibranco d'acqua dolce. Spesso vi si trovano anche ossa di

vertebrati. In Europa è assai sviluppato nelle vallate dei grandi fiumi; ma il maggiore sviluppo lo ha in Cina.

Caverne e brecce ossifere. — Durante questi periodi, vaste caverne, formatesi per azioni varie, sono state abitate prima da animali, successivamente dall'uomo. Questi hanno lasciato i loro resti sul fondo di queste grotte, dove furono sepolti e protetti da uno strato stallagmitico. Col rovinare di varie di queste caverne, in seguito a movimenti del suolo, vennero ad essere sepolti questi resti, ridotti in pezzi, cementati, formando quella breccia ossifera, cosí caratteristica ad Uliveto nel Monte Pisano, ed in molte altre località.

Nelle grotte ossifere della Sicilia furono scoperte le ossa del vero elefante affricano; e ciò conferma sempre piú l'intimo rapporto di questa isola con la non lontana Affrica. Importanti pure sono le grotte della Liguria, in varie delle quali si sono trovati avanzi d'uomo e resti della sua industria.

Periodo antropozoico. — Questo periodo si collega direttamente con l'attualità, e si fonde in parte col periodo dei terrazzi, nel quale, come abbiamo detto, i piú dei geologi vogliono che per la prima volta sia comparso l'uomo. La presenza dell'uomo, piú che dai suoi avanzi ossei, assai rari, ci è attestata dai suoi prodotti, dai suoi utensili. Da prima si serví per armi di difesa o per arnesi da lavoro di pezzi di selce, scheggiata semplicemente e ridotta a punta (età della pietra rozza, od *età paleolitica*); ma in seguito questi oggetti si trovano fatti di selce o di altra pietra, e sono levigati (età della pietra liscia, od *età neolitica*); finalmente cominciò a servirsi di oggetti fatti di metallo, e i primi furono di bronzo. Col bronzo siamo già in epoca storica, poiché al tempo di Troia le armi erano ancora quasi tutte in bronzo, e poco noto era il ferro. All'uso del bronzo succede quello del ferro. Arriviamo cosí nell'età completamente storica, quindi in un campo che spetta all'archeologo, non piú al geologo.

Ma di quanto si riferisce all'uomo, alla sua antichità, ed alle suddivisioni del periodo antropozoico, si tratta

nella terza parte di questo lavoro, dovuta alla penna del Prof. Giglioli.

L'Italia nel quaternario. — Nel quaternario avvenne la separazione della Sicilia dall'Italia, in seguito ad una potente erosione marina e ad un movimento di sprofondamento, forse non ancora cessato, mentre piú recente è la separazione della Sicilia dall'Affrica, anch'essa dovuta a lento avvallamento.

Si unisce all'Italia il Gargano, ed il mare Padano a poco a poco si interra.

Dalle Alpi scendono ghiacciai imponenti che hanno lasciato, come vedemmo, a testimoni della loro esistenza le morene. La Serra d'Ivrea, collina alta circa 900 metri, è la morena laterale sinistra di un ghiacciaio che scendeva dalla valle d'Aosta. Altre collinette piú basse segnano ivi la morena destra e le frontali. In seguito al ritiro del ghiacciaio si formò colà un lago molto esteso, di cui oggi il lago di Candia ed il Viverone non sono che i resti.

Le colline vicine al lago d'Orta sono glaciali, e cosí quelle al sud d'Iseo (dove si trovarono anche resti di rinoceronti) e di tutti i grandi laghi lombardi, come abbiamo già visto. Cosí citammo già i ghiacciai del Tagliamento e del Piave, e quelli dell'Appennino. Non meno importanti dei ghiacciai sono le alluvioni fluviali, nelle quali si formarono i terrazzi, come è facile osservare ai piedi delle Alpi e delle Prealpi.

Tra le grotte ossifere vanno ricordate la Barma Grande (Liguria) ove si trovarono sette scheletri umani, e quella di S. Ciro presso Palermo, in cui si trovarono ippopotami, elefanti, un orso, alcuni canidi ed altri animali.

Un cenno lo merita anche la *panchina* di Livorno, formata di travertino marino, in cui furono rinvenuti molti resti dell'industria umana.

Depositi quaternari fossiliferi si hanno nel Casentino, nel Lazio, a Galatina (Lecce), in Calabria, in Sicilia ed in Sardegna.

Depositi marini in Italia ne abbiamo pochi. Si possono

ricordare quelli delle colline pisane, alcuni presso Roma, e quelli rari dell'Emilia.

Arsero vulcani al Monte Amiata, al Cimino, alla Tolfa, a Radicofani; seguitarono le eruzioni dei Campi Flegrei e dell'Etna; si formò il cono del Vulture; arsero le Lipari, e nuove eruzioni si ebbero in Sardegna.

Il quaternario fuori d'Italia. — Sulle coste dell'Islanda, della Nuova-Zembla, della Groenlandia, dell'America settentrionale, nella sua parte più boreale, e su quelle della Siberia si hanno depositi marini riferibili al quaternario. Altri se ne hanno nella Prussia, nella Scandinavia, nell'Inghilterra.

Quanto ai depositi glaciali, già ricordammo il ghiacciaio del Rodano, ma anche quello del Reno aveva grande estensione, perchè copriva tutta l'area occupata oggi dal lago di Costanza, e si spingeva a nord fin presso Sigmaringen. Potentissimo era anche il ghiacciaio dell'Eno (Inn).

Uno sguardo alla carta della distribuzione dei ghiacciai in Europa (fig. 143) ci servirà assai più di ogni dettagliata descrizione, per dimostrarci quale estensione e diffusione essi raggiunsero nell'Europa settentrionale. La Norvegia, la Svezia, la Danimarca, la Germania, l'Olanda, gran parte della Russia ne erano invasi; si calcola anzi che l'altezza del ghiaccio fosse di circa 1000 metri, considerando che là dove i ghiacciai si arrestavano hanno lasciato tracce a 400 e più metri di altezza; ed ivi dovevano avere minore spessore, perchè appunto al loro margine inferiore è maggiore la fusione.

Massi erratici trovansi disseminati nella Germania, nella Polonia, nell'Austria-Ungheria, nell'Inghilterra. E quelle pianure settentrionali che non erano invase dai ghiacci si trovavano allo stato di steppe glaciali o di tundre, come ce lo attestano diversi fossili, quali i lemming, abitatori delle tundre, la renna, il bue muschiato, ecc.

Le pianure più meridionali erano ricche di vegetazione, e in esse vissero antilopi, cavalli, marmotte, iene, cervi, leoni e sciacalli.

Le valli dei grandi fiumi, come già dicemmo per l'Italia, presentano depositi alluvionali terrazzati.

La callotta di ghiaccio che coprì l'America settentrionale fu superiore a quella che coprì l'Europa, mentre i ghiacciai mancarono nella Siberia. Invece nella Nuova Siberia esisteva una crosta di ghiaccio, nelle cui spaccature caddero e rimasero impigliati i mammut.

Anche nell'America settentrionale si trovano numerose terrazze fluviali, prove delle notevoli variazioni cui ivi furono soggetti i fiumi.

Nell'America meridionale, nel loess delle pampas e nelle caverne ossifere, si trovarono quegli abbondanti resti di mammiferi, di cui abbiamo più sopra parlato.

Caratteristica è la fauna quaternaria dell'Australia, perchè diversa da quella delle altre terre; vi si trovano solo marsupiali e monotremi. Un marsupiale colossale era il *Diprotodon*, erbivoro; ed erbivoro doveva essere il *Thylacoleo*, che, per la potente dentatura, fu giudicato a torto un carnivoro.

I colossali uccelli, *Dinornis*, erano dell'Australia, ma vivevano anche nella Nuova Zelanda. L'ultimo Moa (che cosí erano chiamati dagli indigeni questi colossi ed i loro affini) pare siasi estinto nel secolo scorso.

CENNI DI PALEOGEOGRAFIA DELL' ITALIA [1]

Il carattere predominante della nostra Italia è quello di essere formata da terreni relativamente giovani; gli antichi, se si fa eccezione delle Alpi, vi sono assai scarsamente rappresentati.

Anche l'Appennino è formato di terreni assai recenti, e quindi poco consistenti, talché le acque possono facilmente eroderli.

I terreni arcaici sono in Italia ridotti a piccole porzioni, isolate qua e là, e sembrano essere i residui di una antica terra, che oggi è sommersa nel Tirreno, e che perciò fu denominata Tirrenide. Le isole della Toscana, la Corsica, la Sardegna, la parte N-E. della Sicilia e la Calabria ne rappresenterebbero i resti; come le Alpi Apuane, il Monte Pisano e la catena metallifera della Toscana starebbero a rappresentare l'unione fra la Tirrenide e la moderna Italia.

Sul finire dell' era secondaria questo continente, o vasta isola che fosse, si spezzò e si sommerse in parte, modificandosi profondamente fino al principio del quaternario.

---

[1] Fischer, *La penisola Italiana.* Unione Tipog. torinese, 1898-99.

Per replicate frane avvenute lungo la riva tirrenica, si formò un ampio golfo, che fu detto Campanico, e di cui sono oggi residui il ridente golfo di Napoli e quello di Gaeta.

Verso la fine del pliocene, del mezzodì d'Italia non esistevano che alcune isole, per cui il mare Tirreno, da poco formato, comunicava, per mezzo di numerosi stretti e canali, coll'Adriatico.

Per effetto dello sprofondamento per cui la Tirrenide si sommergeva, si verificava una spinta, che, provocando corrugamento negli strati, dava origine a montagne. Questa spinta, che si propagò all'intorno dell'ampia depressione, fu quella cui si dovette la formazione dell'Appennino, che appunto perciò mostra verso il Tirreno la sua maggiore ripidità.

Il sistema appenninico si congiungeva, per la Sicilia, con l'Affrica; ma ben presto l'azione erosiva del mare separava la Sicilia dall'Affrica, e Malta e Pantelleria dalla Sicilia. In precedenza la Sicilia erasi già separata dall'Italia.

È naturale che, in relazione con questo corrugamento, siensi formate delle fratture, e che attraverso a queste siensi fatta strada i materiali vulcanici, originando vulcani, dei quali molti furono da prima sottomarini e diventarono in seguito subaerei.

È ad una frattura che si deve la separazione della Sicilia dall'Italia; e sembra che con questa frattura sia in correlazione l'Etna.

Appena formatesi le prime rughe dell'Appennino, nel miocene incominciò un notevole sollevamento, per cui le isole calabresi dell'Italia meridionale si riunivano tra loro e col continente.

Il sollevamento della Calabria seguita nel quaternario, ma non continuo, anzi spesso interrotto da periodi di sosta, che permisero la formazione di numerose terrazze; e non è improbabile che anche oggi perduri il movimento di sollevamento, come ce lo attestano i frequenti terremoti che

funestano quella regione. Un sollevamento avveniva anche nell' Italia centrale, per cui si riuniva alla terraferma la catena metallifera; ed anche nel Monte Pisano e nell' isola d' Elba abbiamo prove di una emersione di quell' epoca.

Le parti separate dell'Appennino napoletano si collegavano tra loro, scomparendo il braccio di mare che nel pliocene riuniva l'Adriatico al Tirreno, attraverso all'Appennino napoletano. Nel quaternario emergeva anche il fondo dello stretto che separava il Gargano dall' Appennino e si spingeva dalla baia di Vasto fino a Taranto.

Il Gargano colle vicine Puglie sono costituiti di terreni mesozoici, prevalentemente cretacei, e sono vere parti dell' Appennino; ma hanno anche grandi rapporti colla Dalmazia, con la quale molto probabilmente furono una volta uniti; e lo proverebbe anche la sella sottomarina, su cui il mare raggiunge appena i 200 metri di profondità, che si estende dal Gargano alla Dalmazia.

Oggi da alcuni si nega tale unione, basandosi sul fatto che le Tremiti hanno pochi rapporti con la Dalmazia; ma se questo può provare che le Tremiti non erano unite a quella terra, non ha il medesimo valore negativo per il Gargano e le Puglie.

L' Appennino settentrionale ed il centrale sono giovani, come ce lo attesta lo sviluppo notevole, che ivi si nota, delle formazioni plioceniche; ma più giovane ancora è la pianura del Po, la quale fu riempita dalle alluvioni e dai sedimenti glaciali, coadiuvati da un lento movimento di inalzamento. Questi materiali furono per la massima parte strappati alle Alpi, la cui configurazione attuale si sviluppò principalmente in sul cader dell' eocene. In questa catena i terreni eocenici si trovano specialmente nelle Alpi del Friuli, nelle Prealpi venete e nelle Alpi Marittime, poiché il rimanente è formato da terreni originatisi prima del terziario.

Da tutto ciò risulta che la formazione dell' Italia, quale la osserviamo oggi, non risale ad antichissimi tempi, geologicamente parlando. Sembra che essa abbia guadagnato

in terra verso oriente, mentre si è sprofondata ad occidente. La parte d'Italia che esistè nell'antichità piú remota (arcaico e paleozoico) si riduce a poca cosa, poiché, tolte le isole, il paleozoico trovasi quasi esclusivamente nelle Alpi e giú, al sud, nella Calabria.

Cosí formavasi, a seconda di quanto magistralmente ha riassunto il Fischer dai varî studî geologici, questa nostra terra italiana; giovane terra sí, ma non meno importante per la sua costituzione geologica, di quello che lo sia per le vicende storiche, che la portarono un giorno a dominare il mondo.

PARTE TERZA[1]

L'uomo: sua antichità; le razze umane

L'Uomo, che ebbe da Linneo il nome superbo di *Homo sapiens*, sta geologicamente alla testa dell'ordine dei Primati, il gruppo più elevato dei Mammiferi; alla estremità opposta di quest'ordine abbiamo i singolari Lemuri, i cui punti di contatto cogli Insettivori, coi Roditori, coi Carnivori e persino coi Marsupiali, sono noti.

Tra i Primati quelli più affini all'Uomo sono senza alcun dubbio le Scimmie, e tra queste alcune di quelle del Vecchio Continente, abitanti cioè le parti tropicali dell'Asia e dell'Africa, e dette appunto Antropomorfe. Oggi in questa divisione vengono inclusi i Gibboni (*Hylobates*), gli Orang-Utan (*Simia*), i Cimpansè ed il Gorilla (*Troglodytes*). A questi vanno forse aggiunte alcune forme estinte che vissero nell'ultimo terzo dell'Èra Cenozoica; esse sarebbero gli *Oreopithecus*, i *Dryopithecus* ed i *Palæopithecus*.

Per chi accetta la teoria evolutiva di Darwin (e attualmente in Scienza sono i più ed i più autorevoli), le origini del tipo zoologico *Homo* vanno cercate presso il gruppo delle Scimmie Antropomorfe; ma sinora questo nostro progenitore antico, il quale non era più una Scimmia Antro-

[1] Questa parte fu scritta dal chiarissimo prof. Enrico H. Giglioli.

pomorfa e non era ancora un Uomo, non è stato scoperto. E sebbene alcuni scienziati animati da zelo soverchio abbiano già tentato di raffigurarlo dandogli il nome di Pitecantropo o di Antropopiteco, i più serî e positivi (dovendo pur convenire che tra il più alto Antropomorfo e l'Uomo più bestiale c'è posto per una, o anco più, forme intermediarie) debbono per ora rassegnarsi al fatto che questa, o queste, non sono ancora state trovate.

MORFOLOGIA

Non sarà qui fuori di luogo il dare in modo succinto i caratteri morfologici che sono proprî all'Uomo il quale da per sè solo, per ora, costituisce l'ultima divisione dei Primati, ossia la tribù degli Antropini.

L'*Homo sapiens* nel camminare assume abitualmente la postura eretta e non ha bisogno dell'aiuto delle braccia, che sono più corte delle gambe; mentre nelle Scimmie vere, dette Cinomorfe, la postura nell'incesso è quella quadrupedale, il corpo essendo orizzontale o quasi; e anche nelle Scimmie Antropomorfe le lunghissime braccia, adoperate nell'incesso come appoggio, dànno al corpo, terminato da gambe corte, una postura obliqua. L'Uomo dunque è essenzialmente bipede. Nella mano esso ha il pollice perfettamente opponibile alle altre dita, più corto di esse, e forte; nel piede il suo corrispondente, detto alluce, uguaglia o può sorpassare di poco in lunghezza le altre dita delle quali è più robusto assai; i suoi movimenti sono notevolmente limitati; la pianta del piede allungato posa quasi tutta a terra ed il tallone si allarga e sporge alquanto indietro.

Negli adulti i peli trovansi limitati al capo, alle ascelle ed al pube, sui margini palpebrali (*ciglia*) e sulle arcate sopraorbitali (*sopracciglia*); ma nei maschi di razze alte si trovano talvolta abbastanza abbondanti sul dorso (spalle e groppone), sul petto, sulla linea mediana dell'addome, e sugli arti; i peli sull'avambraccio sono rivolti in direzione

diversa da quelli sul braccio. La barba ed i baffi sono poi un carattere quasi costante del maschio adulto.

Il cambiamento di proporzione tra le diverse parti del corpo nei diversi periodi della vita prima e dopo la nascita sono assai notevoli. Nel neonato la regione dorso-lombare della spina è concava anteriormente, ma nell'adulto la parte dorsale soltanto rimane concava, quella lombare si fa convessa e si forma un angolo lombo-sacrale bene marcato.

Normalmente nell'Uomo vi sono 12 vertebre dorsali, 5 lombari, 5 sacrali e 4 coccigee o caudali. La larghezza del sacro è maggiore della sua lunghezza. Il cranio anche nell'adulto, è arrotondato, liscio sopra o tutto al più con lievi rialzi sopraorbitali, specialmente nel maschio; il foro occipitale guarda in giù e più spesso un poco innanzi che non indietro; i processi mastoidei sono cospicui e gli stiloidei generalmente ossificati. Le orbite e le mascelle sono proporzionalmente più piccole che negli altri Primati, il piano della faccia è vicino alla verticale e sta sotto alla parte anteriore della cavità cerebrale, grande e predominante. Il palato osseo è largo, corto ed arcuato anteriormente. Gli archi zigomatici sono relativamente poco sviluppati. La pelvi è corta e larga, foggiata a bacino; essendo specialmente modificata in relazione colla postura eretta e coll'incesso bipede. Nel piede il tarso occupa metà della lunghezza totale, ed il calcaneo è specialmente modificato. Il femore e la tibia presi insieme sono più lunghi che l'omero ed il radio. La gabbia toracica è piuttosto lunga e lo sterno è lungo e relativamente stretto.

A confronto delle Scimmie in generale e degli Antropomorfi in particolare, i muscoli dell'Uomo presentano differenze di particolari, non di disposizione e di rappresentanza; due soli tra quelli degli arti, di poca importanza, non si trovarono nelle Scimmie. Lo sviluppo notevole dei glutei e la conseguente formazione delle natiche sono un carattere tutto umano.

Nel sistema nervoso le dimensioni assolute e relative della massa encefalica e il maggiore volume degli emisferi

cerebrali in confronto al cervelletto ed al resto, sono un tratto notevole e caratteristico degli Antropini; ma se, facendo astrazione dal volume maggiore, scendiamo alla ricerca di caratteri morfologici distintivi nel cervello umano confrontato con quello dei Primati superiori, troviamo ben poca cosa: il riempimento della fessura occipito-temporale, la maggiore complessità e la minore simmetria degli altri solchi e circonvoluzioni, l'incavo minore della superficie del lobo frontale.

Nella morfologia esterna degli organi dei sensi va specialmente notato nell'Uomo: il rilievo usualmente ben più marcato della cartilagine nasale, per il quale il naso sporge notevolmente, nel più dei casi, sul piano della faccia; la forma più regolare del padiglione esterno dell'orecchio e lo sviluppo maggiore del suo lobo inferiore. Assai meno facile sarebbe l'analisi comparativa fisiologica di questi sensi.

Nell'apparecchio alimentare va notata: la larghezza proporzionale minore dell'apertura orale; la tumidezza assai più marcata delle labbra; le dimensioni minori di tutti i denti, lo sviluppo notevolmente minore dei canini che non offrono mai carattere distintivo sessuale, come in tutte le Scimmie propriamente dette; e la conseguente mancanza di un diastema, sebbene le punte dei canini siano un poco sporgenti.

Mancano affatto nell'Uomo le dilatazioni laringee, così marcate nelle Scimmie Antropomorfe.

Altre più minute differenze morfologiche si potrebbero accennare nel confronto tra l'Uomo ed i Primati a lui più vicini; ma quelle ricordate sono le più importanti, e non è qui il caso di entrare in troppi particolari, bastando allo scopo presente la breve diagnosi anatomica dell'Uomo che è stata tracciata.

Come si nota in grado anco più marcato trà gli Antropomorfi, nell'Uomo il maschio adulto è normalmente più grande e più robusto della femmina.

ORIGINE E PREISTORIA

Dopo le premesse è superfluo il dire che chi scrive è *monogenista*; cioè ritiene che l'Uomo, rappresentato dalle diverse razze e sotto-razze attuali, discende da un solo Adamo. Fu detto già come sinora non si siano rinvenuti avanzi fossili di un Uomo meno umano degli Uomini attuali, e come i primi indizî della esistenza dell'Uomo si rinvengano sulle frontiere dell'Èra Cainozoica in terreni appartenenti al Quaternario. L'Uomo pliocenico, ammesso da taluni dietro ben scarse e mal sicure prove, è tuttora un mito; benchè si debba notare che una grande Autorità in fatto di paletnologia abbia dichiarato da varii anni, non solo che era provata la esistenza nei tempi Cainozoici di esseri abbastanza intelligenti per procurarsi il fuoco e per fare strumenti scheggiati di selce e di quarzite, ma che essi erano veri precursori dell'Uomo; e ad essi dava il nome generico di *Anthropopithecus*, facendone persino tre specie: l'*A. Bourgeoisii*, l'*A. Ramesii* e l'*A. Ribeiroii!* E questi Antropopiteci avrebbero vissuto non soltanto nel Pliocene, ma anco nel Miocene inferiore!! Il suddetto Autore è però costretto a confessare, nelle sue conclusioni, che sinora non sono stati trovati avanzi di questi nostri precursori, e che non pochi dubbî cadono sugli strumenti litici ad essi attribuiti.

Gli Uomini dell'epoca Quaternaria vissero nell'Europa, nell'Asia, forse nell'Africa e, pare, anche nell'America, con Mammiferi ed altri animali ora affatto estinti. Così in Europa, ove le ricerche paletnologiche sono più innanzi, sappiamo positivamente che quei nostri antenati vissero nelle contrade centrali col Mammut (*Elephas primigenius*) e con un Elefante glabro (*Elephas antiquus*); con due Rinoceronti, il lanuto *Rhinoceros tichorhinus* ed il *R. Merkii*; col grande Orso delle caverne (*Ursus spelœus*), colla Iena delle spelonche (*Hyœna spelœa*), con diverse specie di *Bos*, e col *Megaceros*, enorme Alce, che non esistono più; inoltre

nella media Europa cacciarono la Renna, l'*Ovibos* ed il Castoro, divenuti oggi artici o sub-artici. Non soltanto troviamo le ossa di questi Mammiferi infrante per estrarne il midollo o con segni palesi del fuoco ed anco con punte di armi litiche tuttora infisse, ma si sono rinvenuti pezzi di osso o di avorio fossili sui quali quegli Uomini primitivi hanno inciso con molta esattezza e direi quasi con senso artistico le figure di quei Mammiferi ora scomparsi. Rammentiamo per esempio il Mammut inciso sopra una piastra d'avorio rinvenuto nella grotta della Madeleine, quello scolpito pure in avorio di Bruniquel (Francia); la Renna e l'*Ovibos* mirabilmente delineati nella caverna di Thaïngen (Svizzera).

Gli avanzi di questi Uomini preistorici, rinvenuti specialmente in caverne e anco in breccie ossifere, non solo dimostrano a tutta evidenza che erano individui della specie unica *Homo sapiens*, ma, nella grande maggioranza dei casi, nella statura, nel cranio e nella forma e proporzioni delle ossa tutte dello scheletro, non presentano differenze notevoli da Uomini oggi viventi; anzi tra questi gli avanzi fossili e sub-fossili umani rinvenuti, in Europa almeno, non occuperebbero sempre i gradini più bassi. Molto chiasso è stato fatto intorno alla mandibola *umanissima* di Moulin Quignon, ed a quella un poco pitecoide e forse anomala della Naulette. Lunghe poi ed animate furono le discussioni sui cranî di Engis e del Neanderthal; dei quali il primo, appartenuto ad un Uomo contemporaneo del Mammut, è di un tipo medio comune anche oggi; il secondo venne caratterizzato da Huxley come « *il più pitecoide dei cranî umani sino allora scoperti* ». Eppure in Europa (Irlanda), in America (Terra del Fuoco) ed in Australasia (Nuova Guinea meridionale, Nuova Caledonia e Nuova Olanda), si hanno teschi di Uomini moderni molto simili a quello del Neanderthal. Si è tentato di rifare il ritratto di questo nostro antico antenato e lo si riproduce qui per dare un'idea di ciò che potevano essere alcuni degli Uomini che in Europa ci hanno preceduto.

Non pochi Autori hanno tentato di ricostituire e classificare le razze di Uomini le quali occuparono l'Europa in quei tempi remotissimi; ma appunto a cagione dello scarso materiale antropologico e pel fatto che è ben difficile determinare anco approssimativamente l'età geologica alla quale appartengono quegli avanzi, non sempre accompagnati con quelli degli animali che solo ponno dare un'idea dell'Èra geologica, i resultati sin qui avuti sono molto imperfetti e spesso troppo ipotetici.

Fig. 144. — L'Uomo del Neanderthal, ricostruito.

Sappiamo che l'Uomo esisteva nei primi tempi del Quaternario, in quel periodo interglaciale per l'Europa nel quale vivevano nei paesi nostri l'*Elephas antiquus* ed il *Rhinoceros Merkii;* sappiamo che egli fabbricava quegli strumenti in selce rozzamente scheggiata che si rinvengono negli strati profondi delle alluvioni quaternarie più antiche. Ma non abbiamo alcun altro avanzo, alcun osso che si possa con sicurezza dire appartenuto a quegli Uomini.

Noi siamo in condizioni migliori per ciò che riguarda gli Uomini i quali vissero nella media Europa contemporanei dell'*Elephas primigenius*, del *Rhinoceros tichorhinus* e della Renna. In questo caso i materiali su cui dobbiamo basare le nostre ricerche cronologiche vanno ripartiti al-

meno in due serie distinte: da un lato quelli che provengono dalle alluvioni, dall'altro quelli provenienti dalle « *Stazioni dell'età della Renna* ».

In ciò che riguarda i materiali della prima categoria, le incertezze notate sopra, rimangono, non solo per l'età dei giacimenti, ma per la contemporaneità con essi degli avanzi umani esumati. Eppoi su pochi frammenti, su cranî incompleti, su pezzi di mandibola e resti simili, sarebbe difficile assai trarre conclusioni che contribuissero efficacemente alla soluzione del problema intricatissimo della ricostruzione di quelle genti primitive dal lato etnografico. Meglio assai stiamo riguardo ai materiali della seconda serie; gli Uomini i quali vissero con la Renna nell'Europa media lasciarono abbondanti avanzi nelle caverne, i loro scheletri abbastanza ben conservati non sono rari e l'età alla quale appartengono non è dubbiosa.

Fu su questi materiali che, dopo lunghe e pazienti analisi, Quatrefages ed Hamy stabilirono due razze, le quali si sarebbero succedute nell'Europa media durante il Quaternario.

La più antica, della quale è prototipo l'Uomo di Neanderthal, venne detta di *Canstadt* e vi appartengono ancora le genti di Spy, recentemente illustrate. Il cranio degli Uomini di questa razza è notevole per il suo eccessivo allungamento (dolicocefalìa), pel suo appiattimento e per l'enorme sporgenza delle arcate sopraccigliari; la mandibola, quasi priva di mento, dà luogo ad un prognatismo (sporgenza delle mascelle) marcatissimo. A giudicare dagli avanzi umani di Spy, questi Uomini dovevano essere di bassa statura e singolarmente robusti e tarchiati.

La seconda di queste razze preistoriche della media Europa venne detta di *Cro-Magnon*; essa è più recente e predominò verso la fine dell' Èra quaternaria. Gli Uomini di questa razza avevano essi pure il cranio dolicocefalico, ma questo, negli altri caratteri, è ben diverso da quello delle genti di Canstadt: sopra le arcate sopraccigliari moderatamente sporgenti, sorgeva una fronte larga ed ampia; grandi

sono pure le ossa parietali e notevole la capacità cerebrale; la faccia è assai larga, con grandi orbite rettangolari e zigomi sporgenti; il naso era ben marcato, lungo e profilato, le mascelle prognate. La mandibola, con branche ben divergenti, era inoltre notevole per la sua sporgenza mentale forte e massiccia. Le genti di Cro-Magnon erano forti e di alta statura; i loro avanzi si sono rinvenuti ben conservati e abbondanti; i cacciatori di Renne della Dordogna, dei Pirenei e di Mentone vi appartengono; sembrano aver occupato tutta la parte occidentale della Regione Mediterranea.

Contemporanei colle genti di Cro-Magnon vissero in Europa, specialmente nel N. E. delle regioni centrali, degli Uomini con testa tonda (brachicefalica) i quali potrebbero costituire una terza razza europea preistorica che andrebbe detta di *Furfooz;* questi sarebbero stati più numerosi subito dopo l'età della Renna, dopo la fine dell' Èra quaternaria. Recentemente alcuni Autori hanno creduto di poter distinguere tra questi antichi Europei con cranio brachicefalico gli elementi di due razze distinte, le cui differenze sarebbero presso a poco quelle che distinguono tra loro le due razze preistoriche con cranio dolicocefalico, cioè di Canstadt e di Cro-Magnon. Ciò porterebbe a quattro il numero delle razze primitive le quali popolarono a vicenda l'Europa in quei tempi remotissimi.

Più tardi gli avanzi di Uomini preistorici che si trovano in Europa non presentano più tratti così marcatamente diversi; evidentemente le migrazioni e gli ibridismi conseguenti avevano già lavorato a cancellare i caratteri differenziali di razza.

Nell'Asia, tanto al N. come al S., si sono rinvenuti avanzi di Uomini in depositi Quaternarî; ma tali ricerche sono appena iniziate. Di speciale interesse sono quelle recenti fatte dal Savenkov nei pressi di Krasnoïarsk, Ienisseisk, Siberia: in uno strato di *loess* con numerose ossa di Mammut, Rinoceronte ed altri Mammiferi quaternarî, trovaronsi i caratteristici strumenti più primitivi dell'Uomo, rozzamente scheggiati. Strumenti simili sono stati rinvenuti

in diverse altre località asiatiche; ma senza alcun dubbio i più interessanti sono quelli di quarzite trovati nell'alluvione quaternaria nei pressi di Madras nell'India; essi sono affatto uguali nelle forme e nelle dimensioni agli strumenti amigdaloidi in selce del Quaternario più antico che resero celebri le scoperte di Boucher de Perthes a S.[t] Acheul ed Abbeville in Francia. Per quanto mi consta però, sinora non abbiamo materiali per dire come e di quale razza fossero gli Uomini i quali fabbricarono tali strumenti in Asia in un passato remotissimo.

Nell'Africa meno ancora è stato fatto: sappiamo che strumenti litici rozzamente scheggiati di tipo primitivo sono stati trovati tanto nella zona settentrionale (Egitto, Algeria) come nelle parti meridionali (Capo di B. Speranza); ma dal loro giacimento superficiale, nel più dei casi, nulla si può dedurre sull'età alla quale appartengono, e non consta che in alcun caso siano stati trovati insieme ad avanzi umani o di animali estinti.

Nell'America boreale la questione dell'Uomo fossile, cioè quaternario, non è nuova; da molti anni sappiamo che pare aver egli vissuto su quel continente contemporaneo all'Elefante, al Mastodonte ed al Cavallo indigeno, estinti ora; i *Mound-builders* foggiavano le loro pipe a forma di Elefante, e questo Mammifero ben facilmente riconoscibile vedesi raffigurato nella forma data ad alcuni dei loro grandi *mounds* o tumuli. Ma, anzitutto, possiamo noi dire con certezza che quel Quaternario Boreo-Americano corrisponda al nostro in Europa? Soltanto è certo che gli avanzi di quegli Americani antichi, compreso il famoso cranio di Calaveras rinvenuto nelle alluvioni aurifere della California, non sono di un tipo diverso da quello degli attuali indigeni dell'America boreale; ed è noto come gli strumenti più antichi non sono diversi da quelli attualmente in uso presso tribù selvaggie o che lo erano pochi anni fa! Infine ben pochi pongono in dubbio che l'America abbia ricevuto dall'Asia la sua popolazione primitiva; almeno l'Etnologia ce lo dice chiaramente; e se l'Elefante

e il Mastodonte vivevano ancora quando i primi Uomini giunsero sul continente Americano, non mancano gli indizî che nell'Asia boreale il Mammut ed il *Rhinoceros tichorhinus* abbiano durato assai più tardi che non in Europa.

Recentemente soltanto, in vere alluvioni, e specialmente in quelle glaciali del Delaware e nei dintorni di Washington, si sono trovate delle officine di rozzi strumenti di quarzite scheggiata, simili in forma agli antichissimi delle alluvioni di Europa e dell'India. Nessun avanzo però dell'Uomo venne scoperto con essi; soltanto nei pressi di Messico pare essere stato trovato, secondo Nadaillac, un rozzo strumento scheggiato insieme con avanzi numerosi, del quaternario *Elephas Colombi.*

Anche nell'America meridionale si sono rinvenute traccie di genti antichissime, le quali sarebbero state contemporanee con alcuni dei singolarissimi Mammiferi estinti appartenenti all'Èra quaternaria di quel continente. Note sono le scoperte del Lund in proposito nelle breccie ossifere e nelle caverne di Minas Geraes, Brasile; egli trovò avanzi umani con quelli di Mammiferi ora estinti affatto. Più al sud, nella regione Platense, abbiamo le scoperte di Séguin, il quale sulle sponde del Rio Carcaraña (Buenos-aires) trovò ossa umane mescolate con quelle di un Orso gigantesco, di un Cavallo, di un Mastodonte e del *Megatherium.* In località non lontana, sul Rio Frias, presso Mercedes, Ameghino scoperse ossa umane, strumenti di selce, *cocci* e carbone insieme ad ossa di Mammiferi estinti infrante e lavorate da mano umana; anzi avrebbe stabilito che quegli Americani primitivi dovevano servirsi degli enormi gusci del *Glyptodon*, gigantesco Sdentato estinto, per capanna o copertura di abituro scavato nel suolo. Infine nella Patagonia il Moreno ha trovato avanzi umani evidentemente di epoca remotissima. Ma anche in questi casi, come in quelli dell'America boreale, quando gli avanzi umani erano in condizioni da permettere un confronto, si trovò che non differivano dagli scheletri di indigeni attualmente viventi nell'America meridionale.

Passiamo ora all'Australasia. Nell'isola continente della Nuova Olanda sappiamo quanto sono singolari i caratteri della Fauna attuale, della quale fanno parte animali di tipi che non ritroviamo che in strati di epoche cainozoiche antiche ed anche del Mesozoico altrove; basterà rammentare i Marsupiali in massa, il *Ceratodus*, il *Cestracion*, le *Trigonia*. Anco in Australia si trovano strati fossiliferi, ma possiamo noi sempre dire che le serie di essi corrispondano cronologicamente a quelle delle altre parti del Globo? Nei depositi più recenti, paragonabili a quelli del Quaternario da noi, o della fine del Cainozoico, si trovano gli avanzi di singolari Marsupiali, come i *Diprotodon*, i *Thylacoleo* ed altri; tutti giganti a confronto di quelli viventi, come in America lo sono i Megaterî ed i *Mylodon* paragonati agli Sdentati attuali, e da noi il Mammut, i Rinoceronti, il *Megaceros* confrontati coi Mammiferi esistenti; il parallelismo è veramente notevole! Ma non mi consta che in Australia si siano rinvenuti avanzi umani insieme a quelli dei Mammiferi estinti in quella regione; abbiamo però non pochi fatti che stanno a provare come gli indigeni attuali dell'Australia fossero preceduti da una razza primitiva e Negroide, simile a quella che ha vissuto sino ai giorni nostri nella vicina Tasmania. Da molti anni venni a tale conclusione ed espressi la opinione che i selvaggi attuali della Nuova Olanda vi siano giunti dopo, portando seco il Cane (*Dingo*): essi sterminarono ed assorbirono i Negroidi primitivi, e il loro Cane distrusse e surrogò il Cane marsupiale (*Thylacinus*). Oggi vediamo ancora questi selvaggi della Nuova Olanda vivere in condizioni che devono somigliare singolarmente a quelle in cui vivevano i nostri più antichi antenati contemporanei del Mammut; ma ci troviamo credo di fronte ad un caso notevolissimo di decadenza e non abbiamo sinora alcun dato positivo per stabilire cronologicamente l'epoca della comparsa dell'Uomo nell'Australia.

Nella Nuova Zelanda, unica altra porzione dell'Australasia ove la Paleontologia ha sinora fatto indagini, sappiamo che l'Uomo visse contemporaneo coi giganteschi

uccelli (*Dinornis*) i quali in epoca geologicamente recente abitarono quelle isole; ma sappiamo pure che quella gente non differiva dagli attuali indigeni.

Da questa rapida rassegna sullo stato delle nostre cognizioni intorno all'antichità dell'Uomo nelle diverse parti del Globo, emerge chiaro che pochi ed insufficienti sono ancora gli elementi per ricostituire la evoluzione cronologica della nostra specie dal lato puramente zoologico e geologico; questi dati bastano tutto al più a farci sapere in modo sicuro che Uomini non diversi di quelli attuali vissero con Animali ora estinti in diverse parti del Globo. Il De Mortillet, basandosi specialmente su dati archeologici e geologici, calcola che l'antichità della nostra specie possa risalire a circa 240,000 anni, dei quali a suo parere 222,000 apparterrebbero al periodo Quaternario.

L'Archeologia, studiando le produzioni di questi Uomini primitivi, il carattere delle loro armi, degli istrumenti ed ornamenti che in maggiore quantità delle loro ossa si rinvengono, e nei luoghi ove stazionarono, e sparsi quasi ovunque alla superficie del suolo, ha saputo, in ciò che riguarda l'Europa e le sue immediate adiacenze, giungere ad una divisione cronologica di quelle epoche remote dette collettivamente *preistoriche*, che segna in certo modo la evoluzione psicologica dei nostri antenati. Gli illustri Danesi Thomsen e Worsaae tra il 1836 ed il 1844 classificarono quei periodi in tre grandi epoche: l'*Età della pietra*, quella del *bronzo* e quella del *ferro*. Merita però di essere rammentato che sin da oltre mezzo secolo avanti Cristo, Lucrezio nel suo « *De natura rerum* » scriveva:

> « Arma antiqua, manus, ungues, dentesque fuerunt
> Et lapides, et item sylvarum fragmina rami,
> Posterius ferri vis est, aerisque reperta;
> Sed prior aeris erat, quam ferri cognitus usus ».

Ciò malgrado, sino a tempi ben vicini a noi, le armi e gli strumenti di pietra dei nostri remoti antenati, che si rinvengono quasi ovunque nel suolo, erano riguardati

come tutt'altra cosa; e coi nomi di *ceraunia* prima e di *pietre del tuono, del fulmine* o *saette* poi, considerati come amuleti e talismani di origine celeste. Oggi ancora i nostri contadini conservano accette e cuspidi di freccia come talismani contro la folgore, ed il nome *astropelekia* è quello col quale nella Grecia attuale si conoscono. Lo stesso si avvera in paesi fuori dell'Europa, ove ebbero origine antiche civiltà ed ove l'epoca nella quale si usarono tali strumenti è veramente preistorica: così nell'India, nella Malesia, nella Cina e nel Giappone. Tale fenomeno del resto si ripete in altre regioni dove armi e strumenti litici non sono preistorici; giacchè in America e nell'Australasia, vediamo genti le quali se ne servivano ieri ancora, riguardarli oggi con venerazione, convertendoli in reliquie o facendone insegne di comando o di feste.

Per l'Europa le tre epoche sopra ricordate segnano abbastanza bene la evoluzione psichica dell'Uomo in ordine cronologico.

ETÀ DELLA PIETRA

Fu la prima, e segna le condizioni nelle quali visse l'Uomo da noi durante il Quaternario e nei primi tempi dell'Èra geologica attuale. Lubbock propose molto opportunamente la divisione di questa età in *Paleolitica* e *Neolitica;* la prima epoca, più antica, è caratterizzata dalla fabbricazione di armi e strumenti rozzamente scheggiati, usualmente fatti con selce o quarzite. Durante la seconda la scheggiatura della selce diviene fine e con ritocchi, per cuspidi di freccia e di lancia e per coltelli; e le accette sono di pietra dura levigata, variamente foggiate ed anco forate.

Epoca paleolitica. — Il De Mortillet, riferendosi più specialmente alla Francia, ha proposto di suddividere quest'epoca, che per noi corrisponde presso a poco al Quaternario, nelle seguenti, incominciando dalla più remota:

1. *Chelléen*: clima caldo ed umido, Uomo del tipo di Canstadt vivente insieme all'*Elephas antiquus*, al *Rhino-*

ceros Merkii, all'Ippopotamo ecc.; unico suo strumento ed arma la punta amigdaloide di roccia locale (selce) lavorata a grandi scheggiature.

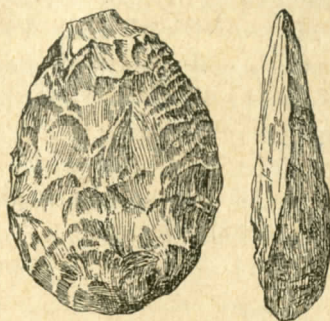



Fig. 145. — Strumento paleolitico *chelléen*.

2. *Moustérien*: clima freddo e umido, Uomo del tipo Engis (Cro-Magnon?) convivente coll'*Elephas primigenius*, col *Rhinoceros tichorhinus*, coll'Orso delle caverne, ecc.; fabbricava strumenti svariati, ascie, coltelli, raschiatoi e punte di selce con scheggiature grossolane.

3. *Solutréen*: clima mite, Uomo a noi non ancora noto (razza Cro-Magnon?); viveva con molti Cavalli, la Renna e l'*Elephas primigenius;* foggiava arnesi di osso e di selce, questi lavorati con ritocchi.

4. *Magdalénien*: clima freddo e asciutto, Uomo con cranio brachicefalico, convivente nella media Europa con la Renna; era abile incisore, fabbricava strumenti di osso e usava specialmente coltelli laminari di selce.

Non può dirsi che queste divisioni dell'epoca paleolitica siano del tutto soddisfacenti, ma sono ciò che di meglio si è tentato. L'Uomo paleolitico in Europa era prettamente selvaggio e viveva precariamente del prodotto della caccia; era dunque secondo ogni probabilità errante e senza dimora o ricovero fisso.

Passiamo ora alla seconda grande divisione nella nostra Età della pietra.

Epoca neolitica. — Corrisponde ai primordî dell' Èra geologica attuale, cioè con condizioni geografiche, climatiche e faunistiche presso a poco uguali a quelle tuttora persistenti. I grandi Mammiferi del Quaternario sono estinti, la Renna e l'*Ovibos* si sono ritirati nella zona artica, il Camoscio, lo Stambecco, la Marmotta si sono rifugiati sulle alte montagne. L'Uomo, di tipo variato, possiede già animali domestici, è divenuto agricoltore e sedentario, fabbrica case e stoviglie; usa ancora armi e strumenti litici, ma levigati o scheggiati con singolare abilità, svariati e perfetti nella forma e nella fattura.

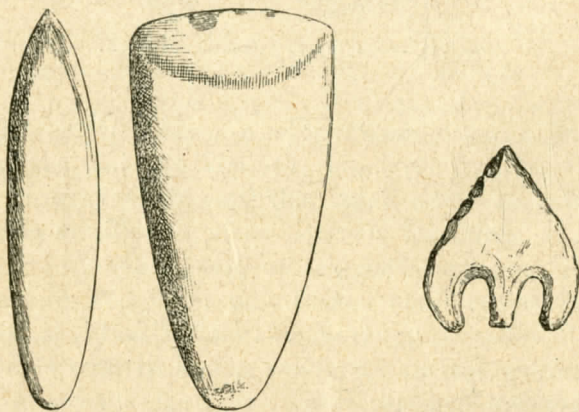



Fig. 146-147. — Accetta levigata e cuspide di freccia neolitiche.

Vi sono già monumenti, e sono i megalitici *dolmen*, *cromlech* e *menhir*. Le grandi accumulazioni di conchiglie ed ossa conosciute in Scandinavia col nome di *kjökkenmödding*, sono riferite a questa epoca, sebbene gli strumenti in selce che vi si rinvengono in abbondanza siano di un tipo assai rozzo e primitivo; è vero che con essi trovansi anche cocci di grossolane stoviglie.

Molti sono gli avanzi di quest' epoca rinvenuti in Europa, ove in alcune regioni rasentò i tempi storici; sono stazioni, sepolcreti e villaggi interi; tra questi specialmente

notevoli quelli lacustri fabbricati su palafitte dei quali la Svizzera è particolarmente ricca; ivi, dal 1854 in qua, si sono ricuperati in grande copia tutti gli ordigni ed i manufatti di quelle genti neolitiche perfettamente conservati dalla melma dei laghi; onde si è potuto rifare la storia di quegli Uomini in ciò che riguardava la loro vita giornaliera e trovare in questa singolari parallelismi con selvaggi moderni. Il Mortillet ha creduto denominare questa epoca *Robenhausien,* dal nome di un villaggio nel cantone di Zurigo ove si scoprì uno dei più importanti di quei villaggi lacustri elvetici, splendidamente illustrato dal Keller. Le *terremare* ed i *fondi di capanne* dell'Alta Italia, apparterrebbero a quest'epoca. In molte località si sono poi trovate vere officine ove si fabbricavano all'ingrosso i diversi strumenti di pietra dei tipi neolitici.

Diversi Autori opinano che in Europa l'epoca paleolitica e quella neolitica non fossero sovrapposte, ma che tra l'una e l'altra passasse un iato; e cioè che gli Uomini della prima fossero da tempo scomparsi quando il paese venne ripopolato da quelli appartenenti alla seconda; non è però presumibile che quanto può benissimo essere accaduto in alcune regioni, fosse generale in Europa.

ETÀ DEL BRONZO

Questa, che giunge davvero ai tempi storici nell'Europa media e settentrionale e che comprende quelli eroici nel bacino mediterraneo, culla tra noi delle civiltà più antiche, è caratterizzata dall'uso del metallo per la fabbrica di strumenti taglienti. In qualche luogo si usò prima farli di rame puro, ed allora le accette sono simili nella forma a quelle di pietra levigata; ma ben presto si trovò il vantaggio di mescolare al rame lo stagno, inventando il bronzo con cui sono fatte le armi e gli strumenti delle genti di quest'epoca. L'oro e l'argento erano a quel tempo pure lavorati e adoperati per ornamenti, recipienti ecc. Non va però dimenticato che non pochi strumenti di pietra si usarono ancora

insieme a quelli di bronzo, e specialmente cuspidi di freccia in selce. Del resto gli Uomini dell'Età del bronzo avevano raggiunto un grado notevole di civiltà, come è facile vedere dal modo artistico con cui foggiavano ed ornavano i loro manufatti.

ETÀ DEL FERRO

In Europa l'uso del ferro per strumenti taglienti e specialmente per le armi s'introdusse gradualmente dal S. E. Non sembra improbabile che i Greci lo acquistassero dagli Egizii o da popoli civili dell'Asia Minore e che quindi passasse ai Romani. Non abbiamo i materiali per precisare l'epoca in cui ciò avvenne, poichè siamo ancora sui lembi della preistoria; Esiodo ed Omero nei loro poemi parlano del ferro come già comunemente usato ai loro tempi, ed il primo rammentò l'uso del bronzo appo gli Antichi:

τοῖς δ'ἦν χάλκεα μὲν τεύχεα. χάλκεοι δέ τε οἶκοι,
χαλκῷ δ' εἰϱγάζοντο μέλας δ' οὐκ ἔσκε σίδηϱος.

L'uso del bronzo per ornamenti, impugnature ecc., continuò comune nei primi tempi dell'Età del ferro; possiamo dire che l'uso di taluni strumenti litici perdurasse pure lungamente; anzi alcuni di questi sono tuttora in uso: rammenterò che oggi adopransi alle porte dell'Europa, in Islanda dei martelli di pietra; e nell'isola di Cipro, sul Caucaso e nell'Africa settentrionale la trebbiatrice fatta con lame taglienti di selce, il *tribulum* dei Romani antichi, si usa comunemente.

L'Età del ferro in Europa ci porta ai tempi storici e qui cessa il nostro compito.

Fuori dell'Europa le indagini sulle prime epoche della evoluzione umana sono ancora molto incomplete, ma possiamo riassumerne brevemente i risultati.

Africa — Nella parte settentrionale, mediterranea, si può dire che gli stadî evolutivi della civiltà umana furono simili a quelli sopra menzionati per l'Europa. Se

non molto abbondanti, abbiamo pure le prove che i primi abitanti di quella regione fabbricarono ed usarono strumenti di pietra, e tra questi troviamo rappresentati i tipi paleolitici e quelli neolitici. In Egitto l'uso di strumenti taglienti di selce scheggiata continuò quando quel popolo era già avanti nella sua singolare civiltà; si usavano coltelli di selce nel preparare i cadaveri per l'imbalsamazione e falci col tagliente in selce per segare il grano. In genere gli strumenti taglienti delle epoche delle prime dinastie sono di rame e di bronzo, poi appare l'uso del ferro. Nell'estremo sud dell'Africa si trovano rozzissimi strumenti di pietra semplicemente scheggiata, e palle litiche forate; trovansi alla superficie però e sono quasi senza dubbio avanzi di gente selvaggia moderna, forse dei *Bushmen*. Al centro e sulla costa occidentale del continente Nero trovansi rare accette di tipo neolitico e non poche di queste in *ematite;* del resto è noto come anche tra le tribù più selvaggie in Africa da tempo immemorabile si sa estrarre e lavorare il ferro; ritengo invero che i poveri Negri fossero i primi Uomini ad usarlo e che da loro ne avessero imparato l'uso gli antichi Egizî. Nell'Africa orientale oggi, insieme a strumenti di ferro, usansi accette di pietra, coltelli di selce e raschiatoi di ossidiana.

Asia. — Nella Siberia, nell'Asia Minore, nell'India, nella Malesia, nella Cina e nel Giappone troviamo gli avanzi di un'Età della pietra coi tipi paleolitici e neolitici; e così quelli di una Età del bronzo; ma non sempre possiamo dire che esse corrispondano cronologicamente a quelle dell'Europa; eppoi abbiamo ancora nel N. E. e nel S. di questo Continente popoli appena emersi dalla prima Età, alcuni dei quali adoperano tuttora strumenti litici.

America. — Qui la serie evolutiva cronologica che abbiamo veduto reggere così bene per l'Europa, non corrisponde in alcun modo ai fatti; e sebbene abbiansi indizî certi di Uomini quaternari, come già è stato detto, strumenti di tipo paleolitico e neolitico trovansi in uso contemporaneo, anche oggi, tanto nel Nord come nel Sud. V'ha

di più: in America erano sórte due notevoli civiltà, quella messicana e quella peruviana, delle quali rimangono monumenti e documenti di altissima importanza. Ebbene, all'epoca della scoperta, della conquista e della distruzione di quelle civiltà per opera degli Spagnuoli, quei popoli vivevano in uno stadio tra l'Età della pietra e quella del bronzo o meglio del rame; usavano armi e strumenti di pietra scheggiata e levigata, e con essi altri di rame e di bronzo; ed erano nello stesso tempo famosi fabbricanti di stoviglie, artistici tessitori e mosaicisti, e lavoravano benissimo l'oro e l'argento. Oggi le popolazioni indigene, più che decimate nella lotta disuguale coll'Europeo ed anco col Negro da questo importato, sono in piena decadenza e vanno scomparendo; ma oggi ancora nelle vaste regioni artiche e subartiche, più in giù a ponente delle Montagne Rocciose, nel cuore dell'Amazzonia e sull'estremo lembo australe, vivono genti nelle prette condizioni dell'Età della pietra.

Australasia. — In questa vasta regione tutta insulare, l'Uomo non è mai uscito dall'Età della pietra, ed oggi, brutalmente portato dall'invadente Europeo in quella del ferro, soccombe e nel più dei casi scompare. Trent'anni fa vivevano ancora i Tasmaniani assolutamente nelle condizioni dell'Uomo quaternario da noi. Oggi ancora vanno raminghe poche tribù Australiane nella vasta Nuova Olanda, cacciate e rinserrate da un cerchio invadente e crescente di coloni europei; esse vivono miserabilmente nelle pure condizioni dell'Età della pietra, in uno stadio che per i caratteri dei loro manufatti ricorda la fine dell'epoca paleolitica ed il principio di quella neolitica da noi; e con ciò presentano singolari indizî di essere decaduti da condizioni migliori. I popoli della Polinesia, della Micronesia, e della Melanesia vivevano pochi anni fa in prospere condizioni neolitiche, ed oggi ancora alla Nuova Guinea possiamo vedere in vita i villaggi lacustri neolitici dell'antica Elvezia.

LE RAZZE UMANE ODIERNE

Partendo dal concetto monogenistico, che cioè noi apparteniamo tutti ad un'unica specie, è però evidente anco all'osservatore più superficiale che gli Uomini attuali differiscono tra loro; e, facendo beninteso astrazione della variabilità individuale, che nella nostra specie è maggiore assai che non nelle altre, dobbiamo convenire che nei varî paesi vivono Uomini diversi.

Queste varietà dell'Uomo si raggruppano in tre tipi spiccatamente distinti, ma riuniti da un numero non piccolo di sottotipi e di forme intermediarie e connettenti, risultato di un ibridismo continuo e antico, di migrazioni, invasioni, conquiste e conseguenti miscele. A questi tre tipi va più propriamente dato il nome di *razze*, sebbene abitualmente si faccia un largo abuso di questo termine. Oggi, per le ragioni dette sopra, non è tanto facile trovare rappresentanti puri di questi tre tipi umani, che sono: il *Negroide,* il *Mongoloide* e l'*Arianoide.*

1. **Negroidi.** Gli Uomini di questa razza, i quali oggi rappresentano indubbiamente il tipo più basso e non hanno mai dato origine a qualsiasi civiltà, sono caratterizzati dall'avere capelli lanuti, peli simili e piuttosto scarsi; pelle, eccetto sulla palma della mano e sulla pianta del piede, ove è sempre chiara, generalmente di colore oscuro, cioè di varî gradi di bruno volgente al nerastro fuligginoso. Nel più dei casi il cranio è dolicocefalico, cioè stretto e allungato, e la faccia è prognata. Il naso è usualmente depresso, quasi sempre allargato in basso; le labbra grosse; i denti robusti, bianchissimi e grossi; la sclerotica è tinta di giallo, l'iride scurissima.

I rappresentanti più tipici di questa razza trovansi tra i Negri dell'Africa, e buoni campioni ne sono i due qui figurati. Ma i Negri dell'Africa sono lungi dall'essere omogenei: è al centro e sulle coste occidentali che noi troviamo popoli aventi in modo più marcato i caratteri della razza;

in mezzo a loro sparse nelle foreste vivono tribù di pigmei, *Akka*, *Obongo* ed altre, dette collettivamente da Hamy *Negrilli.* Al Sud troviamo i singolarissimi *Bushmen*, pure di statura piccola, con pelle chiara, capelli a glomeruli ed altri tratti peculiari, subordinati però a quelli dei Negroidi, come vedesi dal ritratto qui riprodotto. A contatto con loro sono i non meno singolari Ottentoti, i cui larghi zigomi e gli occhi obliqui sanno di mongolismo, ma hanno capelli lanuti a glomeruli, e, in comune coi Bushmen, le loro donne

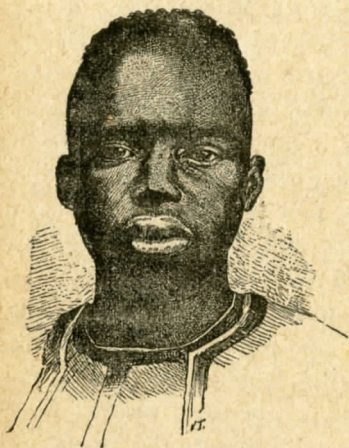



Fig. 148. — Uomo del Sudan.

Fig. 149. — Donna Scilluk.

presentano spesso una steatopigìa esagerata. Ad oriente e verso il N. O. troviamo poi popoli negri di un tipo più bello e più alto; così i *Masai*, i *Zulù*, i *Caffri*, gli *Iolof.* Nella zona settentrionale della regione Etiopica, e più specialmente ad O. e all' E., vivono popoli i quali, conservando caratteri Negroidi in diversissimi gradi, hanno la faccia ortognata (diritta) il viso profilato, i capelli piuttosto crespi e lunghi che non corti e lanuti; così i *Galla*, i *Somali* gli *Abissini* e le genti intorno, i *Begia* ed altri; questi sarebbero popoli d'origine mista, risultato degl'incrociamenti

tra veri Negri e genti di razza Arianoide, Arabi, Egizî, Numidi ecc.

Nell'Asia troviamo sparse nelle regioni meridionali, cioè nelle Filippine, nella penisola Malese, forse anche nell'India e nelle isole Andaman, ove erano sole, tribù Negroidi di un tipo speciale e primitivo; sono state chiamate collettivamente *Negriti*, e non è improbabile che attraverso le isole Malesi e le Molucche si siano sparse nella Papuasia e forse nella Melanesia.

Fig. 150. — Giovane Bushmann.

Nella regione Australiana appunto vivono altri popoli Negroidi, i quali occupano ora più specialmente la Nuova Guinea e le isole vicine che costituiscono la Papuasia, così chiamata perchè *Papuani* appunto chiamansi gli abitanti Negroidi. Questi occupano inoltre le isole dell'arcipelago Bismarck, le isole Salomone, la Nuova Caledonia, le Nuove Ebridi, le isole Viti o Figi e gruppi minori intorno, le quali riunite costituiscono la cosiddetta Melanesia. Tutte queste genti hanno i caratteri distintivi della razza con tratti proprî; è evidente anche qui, e spesso su larga scala, l'ibridismo di questi popoli Negroidi con genti Mongoloidi ed Arianoidi: ciò si vede comparire anco al di là

dell'area attualmente da essi in prevalenza occupata; così alla Nuova Zelanda e nelle isole Tonga; ma in modo più caratteristico lo si scorge tra i *Mafor* ed i *Motu* della Nuova Guinea e nell'isole Viti, ove vedonsi spesso uomini che ricordano gli Abissini od i Somali. Ritengo che una volta questi Negroidi, primi abitatori dell'Australasia, occupassero anco la Nuova Olanda; certo è che noi li abbiamo trovati nella attigua Tasmania, ove sino al principio di questo secolo vissero pacificamente in condizioni forse in tutto identiche a quelle nelle quali visse da noi l'Uomo del

Fig. 151. — L'ultima Tasmaniana.

Quaternario; giunsero poi gli Europei ed in poco più di cinquant'anni distrussero affatto questo popolo interessante e inoffensivo.

I Negroidi dovranno, temo, scomparire; da loro si ebbe scarso retaggio di cognizioni, ma non possiamo scordare che essi forse c'insegnarono l'uso del ferro.

2. **Mongoloidi.** — Le genti appartenenti a questa razza occupano una posizione media nell'umanità e dettero origine ad alcune civiltà speciali ed antiche; ricordansi quella notevolissima cinese, colle derivanti indo-cinesi, giapponese e coreana; e quelle americane degli Aztechi e degli Inca. I Mongoloidi sono caratterizzati dall'avere i ca-

pelli lisci affatto, lunghi ed abbondanti in ambo i sessi, mentre i peli sono scarsi sul restante del corpo; la pelle è usualmente cerea, giallastra od olivastra, ma anche bruna. Il cranio è generalmente brachicefalico con faccia larga e piatta (eurignata) talvolta con prognatismo alveolare o dentare. Il naso è nel più dei casi poco prominente, ma può anche esser tale ed avere forma aquilina, come tra Giapponesi ed Americani; le labbra sono nel più dei casi

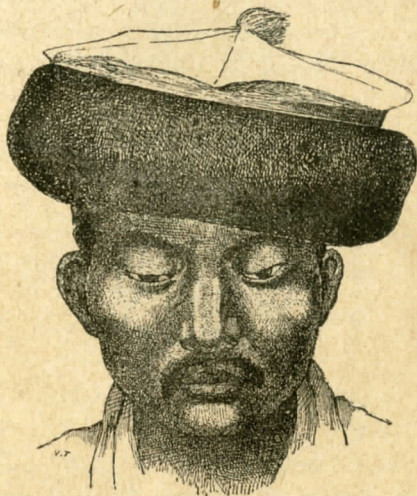



Fig. 152. — Calmucco.

sottili, i denti poco belli; l'occhio nei casi più tipici è molto caratteristico, non solo per la strettezza e l'obliquità dell'apertura palpebrale, ma per la forma della palpebra inferiore; la sclerotica è spesso giallastra e l'iride generalmente scura. Un buon esempio del Mongoloide tipico vedesi nel ritratto qui intercalato.

È nell'Asia che dobbiamo cercare i tipi più marcati di questa razza, tra i Mongoli, i Cinesi, i Manciù, i Calmucchi; di questi ultimi abbiamo una colonia nel S. E. dell'Europa, ed infiltrazioni Mongoloidi vedonsi lungo gli

Urali ed attraverso le popolazioni russe dell' E. e del N. sin nella Scandinavia tra i Finni ed i Lapponi. Attraverso la Siberia il Mongoloide è l'elemento prevalente nelle popolazioni, esuberante tra i Buriati, i Tungusi ed i *Goldi* ad esempio, meno marcato tra i Kirghisi, modificato tra le genti iperboree Ostiacchi, Samoiedi e Yakuti. Nel Tibet e lungo l'Himalaia troviamo popolazioni puramente Mongoloidi, e queste più o meno modificate sono sparse in tutta l'Indocina e nel Giappone ed isole vicine. Al S., in parte sul continente, ma specialmente nelle grandi e splendide isole dell'Arcipelago indiano, troviamo le molte e svariate popolazioni Malesoidi (Malesi, Giavanesi, *Battak*,

Fig. 153. — Eschimese del Labrador.

Dajak, *Bughis*, ecc. ecc.); in esse il tipo mongoloide prevale, ma non sempre in modo spiccato. Questi Malesoidi furono grandi navigatori e si estesero a ponente sino al Madagascar, ove gli *Hova* sono loro discendenti, ad oriente e al sud attraverso le miriadi di isole della Micronesia (Marianne, Palau, Caroline ecc.) sin nel cuore della Polinesia, lasciando ancora palesi traccie del loro passaggio tra le popolazioni Negroidi della Papuasia e della Melanesia.

Le genti indigene delle due Americhe, dagli *Innuit* od Eschimesi delle regioni polari ai *Yaghan* del Capo Horn, sono certamente Mongoloidi; come è facile vedere da un tipo boreale ed uno australe riprodotti nei due ritratti qui intercalati. Ma pur conservando un facies generale di somi-

glianze comuni, presentano non poche variazioni e sottotipi. Così nell'America boreale: gli Eschimesi, i *Tlinkit*, gli *Athabasca* e *Algonkin* (Pelli rosse), gli Aztechi, i *Maya* ecc. ecc.; nell'America meridionale: i *Chibcha*, i *Yunca*, i *Quichua*, gli Araucani, i Patagoni, i Caraibi e le molte e malnote tribù, che si raggruppano intorno ai sotto-tipi *Nu*, *Tupi* e *Tapuya*, sparse nelle foreste della vasta area tropicale.

Fig. 154. — *Tehuelche*, Patagone.

3. **Arianoidi.** — Sono il tipo alto ed imperante dell'umanità, appartengono specialmente alle regioni Eurasica ed Indo-Malaiana, ma sono da tempi remoti sparsi ovunque, meno forse nelle due Americhe. Essi originarono in Africa, Asia ed Europa da circa 4000 anni in qua civiltà notevoli, come l'egizia, la babilonica, la fenicia, la greca e la romana, le quali si succedettero e condussero a quella attuale, dominante oggi ovunque. In qualche caso gli Arianoidi sembrano aver notevolmente degenerato per secolare isolamento, come nella Nuova Olanda; spesso ebbero alti e bassi nella scala della civiltà.

Gli Arianoidi presentano i seguenti caratteri etnici: i capelli sono lisci od inanellati e anche ricciuti, i peli sul corpo piuttosto abbondanti e qualche volta sviluppatissimi nei maschi di popoli alti (Europei) e bassi (*Ainu* e Australiani) di questa razza. La pelle è generalmente chiara

(Europei biondi), ma può essere olivastra (Arabi) ed anche scura quanto nei Negroidi (popoli dell'India). Il cranio è generalmente mesaticefalico (di forma media) ed ortognato, ma ritroviamo quì anche in popoli affini assai gli estremi della dolicocefalìa, della brachicefalìa e anco del prognatismo. Il naso è alto sottile e profilato nel più dei casi; le labbra di medio sviluppo. L'occhio è grande con sclerotica bianca ed iride, bruna in vario grado, o celeste. Sono qui

Fig. 155-156. — Uomo e donna Persiani.

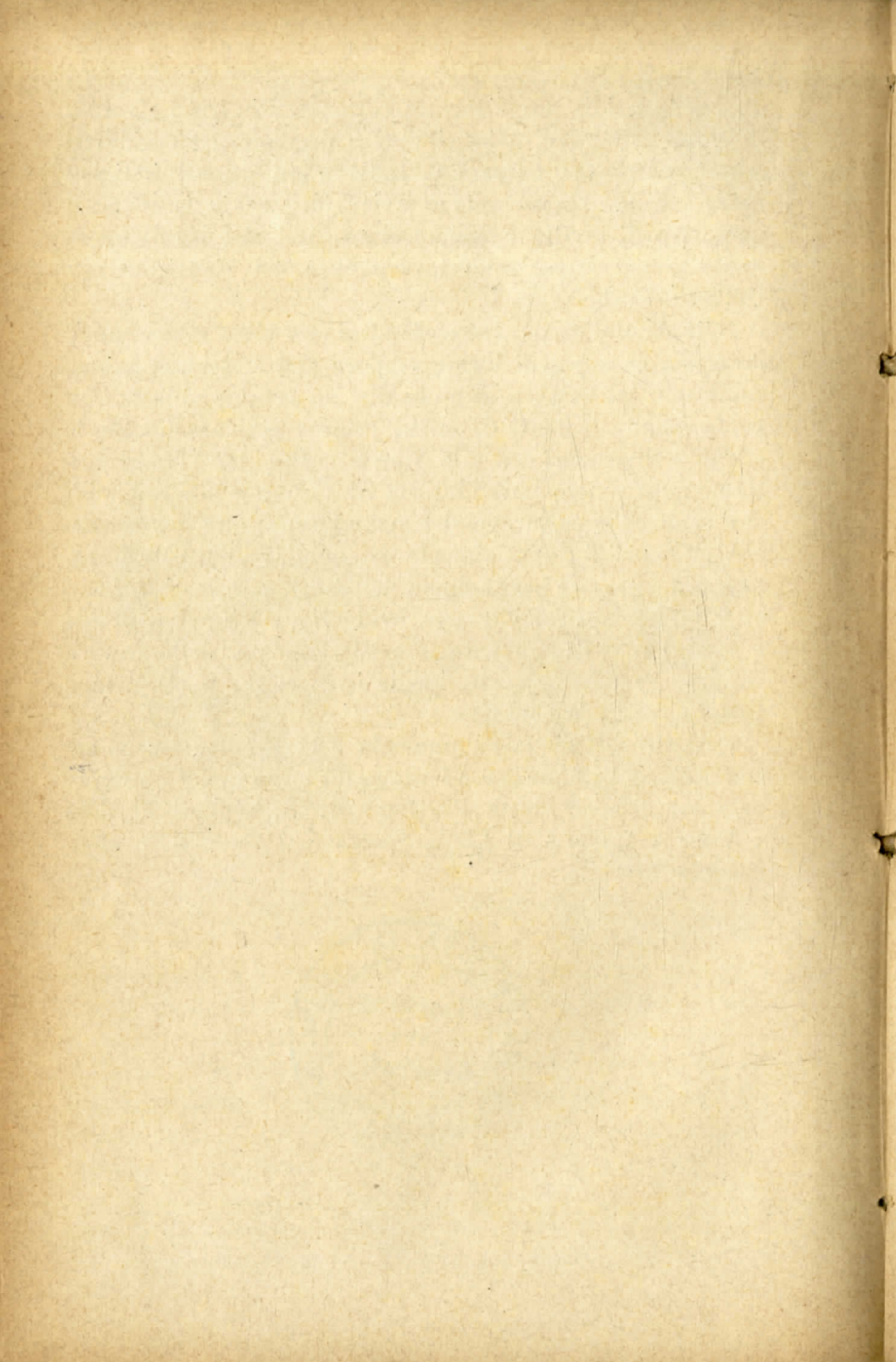
intercalati due campioni tipici di questa razza che non solo varia tanto più delle due precedenti, ma nella quale il carattere del singolo individuo è assai più spiccato.

Sono Arianoidi di tipo alto gli Europei, distinti da taluni in: *Xanthochroi*, prevalentemente biondi con occhi cerulei e statura alta; ed in *Melanochroi*, con capelli ed occhi scuri e statura usualmente bassa; ma da secoli questi due tipi s'incrociano. Più distinti e psichicamente meno alti sono: i Persiani, gli Hindù e gli Arabi dell'Asia, questi con larga estensione in Africa; gli Egizî (*Fellah*) ed i

Berber (Numidi), propriamente Africani. Più bassi gli *Ainu* di Yeso e Sagalin, e bassissimi e degenerati i cosiddetti Aborigeni o *Hill tribes* dell'India e gli attuali indigeni dell'Australia. Un esempio di Arianoidi puri in istato assai primitivo di civiltà, corrispondente direi alla prima epoca dell' Età del ferro, sono i *Scia-Posh* del Kafiristan nell'Hindu Kush.

Gli Arianoidi poi, mescolandosi con altre razze, hanno dato origine a popoli ibridi, seppure essi stessi non hanno, come non mi sembra improbabile un' origine siffatta. Un bell' esempio di genti di mista origine etnica sono tra le altre i Polinesiani; così alla Nuova Zelanda tra i Maori possiamo oggi vedere individui con tratti puramente arianoidi che si direbbero Europei del mezzogiorno; altri con caratteri mongoloidi e specialmente malesoidi, i quali potrebbero benissimo passare per indigeni dell'Araucania o di Borneo; altri infine mostrano traccie evidenti di sangue negroide e somigliano stranamente a certi Papuani della Nuova Guinea. Parrebbe che in quelle isole le tre razze umane fossero venute a contatto.

L'Antropologia, la Paletnologia e la Etnologia sono ancora scienze bambine, ed è lontano il giorno in cui potranno vantarsi di aver detto l'ultima parola; seppure il noto « *Nosce te ipsum* » di Linneo potrà mai tradursi in affermazione assoluta.

UNIVERSITA' DI TORINO - Facoltà di Lettere
Istituto di Geografia

NOTE ED AGGIUNTE

1. Per recentissime scoperte si è trovate che l'*elio* esiste nella proporzione dell' un per cento nelle emanazioni dei soffioni boraciferi di Lardarello in Toscana, e che il *coronio*, di cui sino ad oggi si conosceva l'esistenza nel sole, esiste anche nei vapori della solfatara di Pozzuoli (vedi a pag. 6).

2. Il Ramsay ed il Morris W. Fravers, servendosi dell' aria liquida, scoprirono che nella nostra atmosfera esistono, oltre all'*argon*, anche altri gas che furono chiamati *cripton*, *neon* e *metargon*.

Recentissimamente (Wiedemann's Annalen, T. LXVI, n. 9 e 10, 1898) si è scoperto, per le ricerche di O. Neovius, una nuova sostanza nella nostra atmosfera, cui non fu ancor dato nome alcuno. (Vedi a pag. 56 e 57).

3. La maggior profondità raggiunta verso l' interno della terra è quella di m. 2003,34 del pozzo artesiano di Paruschowitz nella Slesia (vedi a pag. 172).

INDICE ALFABETICO

A

B

D

E

I

K

P

Q

R

S

T

UNIVERSITA' DI TORINO - Facoltà di Lettere - Istituto di Geografia